

Universität der Bundeswehr München  
Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik  
Institut für Arbeitswissenschaft

## **Fahrerzustandserkennung zur Optimierung von Spurhalteassistenzsystemen**

Dipl.-Psych. Christoph Blaschke

Vollständiger Abdruck der bei der  
Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik  
der Universität der Bundeswehr München  
zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

eingereichten Dissertation

Vorsitzender: Prof. Dr. Hans-Joachim Wünsche

Berichterstatter: Prof. Dr. Berthold Färber

Berichterstatter: Prof Dr. Heiner Bubb

Diese Dissertation wurde am 10.01.2011 bei der Universität der Bundeswehr München,  
85577 Neubiberg eingereicht und durch die Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik am  
18.01.2011 angenommen.

Tag der Prüfung: 11.07.2011

## **Inhaltsverzeichnis**

---

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>I</b>
---------------------------------	----------

<b>Danksagung .....</b>	<b>V</b>
-------------------------	----------

<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>VI</b>
------------------------------	-----------

<b>1. Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1. Motivation .....	1
1.2. Zielsetzung .....	7
1.3. Gliederung der Arbeit .....	8

### **I. Teil: Erfassung von Ablenkung im Fahrzeug**

<b>2. Hintergrund: Fahrerzustand und Ablenkung.....</b>	<b>12</b>
2.1. Aufmerksamkeit.....	13
2.1.1. Selektive Aufmerksamkeit .....	13
2.1.2. Geteilte Aufmerksamkeit .....	16
2.2. Ablenkung .....	19
2.2.1. Definition .....	19
2.2.2. Ablenkung als Kontrollverlust durch die Anforderungen der Situation .....	21
2.3. Ablenkung und Verkehrsunfälle .....	31
2.4. Echtzeit-Erkennung von Ablenkung im Fahrzeug .....	34



<b>3. Erfassung der Wahrnehmung des Fahrers .....</b>	<b>37</b>
3.1. Wahrnehmung beim Autofahren .....	38
3.2. Erfassung der Aufmerksamkeitsausrichtung über eine Blickerfassung .....	40
3.3. Erfassung der Aufmerksamkeitsausrichtung über die Kopforientierung (Studie 1).....	46
3.3.1. Versuchsaufbau und -ablauf .....	47
3.3.2. Analyse der Kopforientierung ohne Berücksichtigung eines zeitlichen Verlaufs .....	51
3.3.3. Analyse der Kopforientierung mit Berücksichtigung eines zeitlichen Verlaufs .....	56
3.4. Diskussion: Schätzung von Ablenkung über die Erfassung der Wahrnehmung des Fahrers .....	66
<b>4. Direkte Erfassung von Nebentätigkeiten .....</b>	<b>69</b>
4.1. Tracking von Körperteilen des Fahrers .....	70
4.1.1. Forschungsstand .....	70
4.1.2. Diskussion: Schätzung von Ablenkung über ein Tracking von Körperteilen .....	73
4.2. Erfassung von Bedientätigkeiten (Studie 2) .....	74
4.2.1. Beanspruchung durch Bedientätigkeiten an einem Infotainment- System.....	77
4.2.2. Diskussion: Schätzung von Ablenkung über Bedientätigkeiten .....	90

<b>5. Erfassung von Fahreraufmerksamkeit über Fahrzeugdaten .....</b>	<b>92</b>
5.1. Forschungsstand .....	94
5.2. Fahreraufmerksamkeitserfassung über CAN-Bus Daten (Studie 3) .....	99
5.2.1. Datensatz .....	99
5.2.2. Algorithmus.....	100
5.2.3. Datenaufbereitung.....	102
5.2.4. Ergebnisse .....	105
5.2.5. Diskussion .....	107
5.3. Diskussion: Ablenkungserkennung über Fahrzeugdaten .....	108
 <b>6. Zusammenfassung und Diskussion: Ablenkungserkennung im Fahrzeug.....</b>	<b>110</b>
 <b><u>II. Teil: Spurhalteassistenzsysteme und Ablenkungserkennung</u></b>	
<b>7. Aktuelle Spurhalteassistenzsysteme .....</b>	<b>115</b>
7.1. Technische Beschreibung .....	115
7.1.1. Sensoren und Algorithmen zur Fahrspurerkennung .....	116
7.1.2. Entscheidungseinheit für die Auslösung von Warnungen oder Eingriffen.....	118
7.1.3. Aktuatoren .....	119
7.2. Nutzen von Spurhalteassistenzsystemen .....	122
7.2.1. Unfälle durch Spurverlassen .....	122
7.2.2. Objektiver Nutzen und Akzeptanz von Spurhalteassistenzsystemen .....	125

<b>8. Ablenkungserkennung für Spurhalteassistenzsysteme .....</b>	<b>129</b>
8.1. Blick- und Kopferfassung zur Anpassung von Spurhalteassistenzsystemen .....	132
8.1.1. Forschungsstand .....	132
8.1.2. Diskussion .....	135
8.2. Erfassung von Nebentätigkeiten zur Anpassung von Spurhalteassistenzsystemen.....	137
8.2.1. Tracking von Körperteilen des Fahrers .....	137
8.2.2. Anpassung an Bedientätigkeiten (Studie 4).....	138
8.3. Fahreraufmerksamkeitsschätzung per Fahrzeugdaten zur Anpassung von Spurhalteassistenzsystemen.....	151
<b>9. Negative Verhaltensanpassung an Spurhalteassistenzsysteme .....</b>	<b>153</b>
9.1.1. Empirische Studien .....	155
9.1.2. Diskussion: Negative Verhaltensanpassungen .....	160
<b>10. Zusammenfassung und Diskussion: Spurhalteassistenzsysteme und     Ablenkungserkennung.....</b>	<b>163</b>
<b>11. Ausblick .....</b>	<b>167</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>171</b>
A1. Detaillierte Ergebnisse der Entscheidungsbäume .....	171
A2. Abbildungsverzeichnis .....	177
A3. Tabellenverzeichnis .....	179
A4. Literaturverzeichnis .....	180

## Danksagung

---

Viele haben dazu beigetragen, diese Dissertation zu ermöglichen. Zunächst gilt mein Dank Prof. Dr. Berthold Färber. Er hat mich während meiner gesamten Zeit am Institut für Arbeitswissenschaft mit allen ihm zur Verfügung stehenden Mitteln und konstruktiven Diskussionen unterstützt. Dies gilt außerdem für die Begutachtung, für die ich auch Prof. Dr. Heiner Bubb recht herzlich danken möchte.

Mein Dank gilt weiter allen Kollegen am Institut, die mich während meiner vier Jahre dort immer wieder in unterschiedlichster Form unterstützt haben. Meinen größten Dank möchte ich Dipl.-Ing. Josef Schmitt aussprechen. Er half mir, das technische Verständnis und das nötige Handwerkszeug zu erwerben und führte mich von manchen Irr- und Umwegen immer wieder in Richtung Ziel. Vielen Dank, Josef! Aber auch den anderen Kollegen möchte ich nochmal danken: Für die fachlichen Diskussionen, für die Inkscape- und Gimp-Nachhilfe, für die Ermunterungen, wenn Frust aufkam und auch für die unzähligen kleinen Dinge, wie z.B. Grill bauen und Bier brauen. Danke Euch! Ich hoffe, ich konnte oder kann es Euch noch zurückgeben.

Weiterer Dank gilt den Mitarbeitern der Audi AG, mit denen ich zusammenarbeiten konnte. Allen voran gilt es, Dr. Jörn Freyer zu nennen, der während der gesamten Zeit ein offenes Ohr für meine Sorgen technischer Art hatte und der meist auch eine Lösung anbieten konnte. Gleiches gilt für Dr. Benjamin Trefflich und Dr. Stefan Mayer von der Audi Electronics Venture GmbH, die mich ebenfalls tatkräftig unterstützt haben. Euch dreien und auch den dahinterstehenden Mitarbeitern vielen Dank für die Zusammenarbeit!

Abschließend möchte ich mich bei meinen Freunden und meiner Familie bedanken, die mich auf dem gesamten Weg in vielerlei Hinsicht unterstützt haben. Danke für Eure Hilfe und danke, dass Ihr da seid!

München, 14.08.11

Christoph Blaschke

## **Zusammenfassung**

---

Ablenkung beim Autofahren ist und wird in Zukunft immer ein Problem darstellen und zu Unfällen im Straßenverkehr führen. Ein Unfalltyp, der damit in direktem Zusammenhang steht und zu vielen Verkehrstoten führt, ist der Unfall durch unbeabsichtigtes Spurverlassen. Um dem entgegenzuwirken, werden von der Automobilindustrie Spurhalteassistenzsysteme entwickelt, die den Fahrer vor einem Überfahren von Fahrspurbegrenzungslinien warnen sollen. Es zeigt sich jedoch, dass die Warnstrategie dieser Systeme unzureichend ist und die Systeme somit hinter ihrem Potential zurückbleiben. Denn für die Warnungsauslösung werden in der Regel nur die Zeit bis zum Überfahren der Spurmarkierung und die Nutzung des Blinkers verwendet. Beide Maße sind aber kein geeignetes Kriterium für die Erfassung des eigentlichen Fahrerzustands beziehungsweise des tatsächlichen Bedarfs an Unterstützung seitens des Fahrers. Die Folge ist, dass die Warnungen der Systeme teilweise als störend empfunden werden und damit die Akzeptanz und die Nutzungsbereitschaft sinken. Um den vollen Nutzen von Spurhalteassistenzsystemen ausschöpfen zu können, ist es dementsprechend notwendig, den Fahrerzustand zu erfassen und darauf basierend die Warnstrategie auszurichten.

Der erste Teil dieser Arbeit beschäftigt sich generell mit verschiedenen Möglichkeiten einer Echtzeit-Erkennung des Fahrerzustands im Fahrzeug. Im zweiten Teil wird aufbauend darauf speziell das Potential der Adaption von Spurhalteassistenzsystemen an den Fahrerzustand analysiert.

Die Möglichkeiten einer Fahrerzustandsschätzung werden dabei über drei Wege näher betrachtet. Zunächst wird eine Schätzung der Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers über die Erfassung seiner Augenbewegungen und der Kopforientierung untersucht. Dabei zeigt sich, dass Systeme zur Blickbewegungserfassung viel Potential zur Erkennung von Ablenkung bieten, dass diese aber bislang noch nicht für einen Einsatz im automobilen Bereich nutzbar sind. Die Aussagekraft der Kopforientierung hinsichtlich

einer Ablenkung des Fahrers wird in einer eigenen experimentellen Studie im realen Verkehr untersucht. Zwar ist eine solche Erfassung schon heute in Serienfahrzeugen möglich, die Aussagekraft der Daten ist jedoch begrenzt.

Eine weitere Möglichkeit zur Erfassung des Fahrerzustands besteht darin, direkt Nebentätigkeiten des Fahrers zu detektieren. Dabei wird in dieser Arbeit dargestellt, inwieweit durch ein Kamera-basiertes Tracking der Ausrichtung der Extremitäten des Fahrers auf eine unzureichende Aufmerksamkeitsausrichtung auf die Fahraufgabe geschlossen werden kann. Ein eigenes Experiment verdeutlicht außerdem, dass es schon heute möglich ist, die Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers aufgrund von Bedienhandlungen am Infotainment-System eines Fahrzeugs zu erkennen.

In einem letzten Schritt wird die Erfassbarkeit des Fahrerzustands aufgrund der schon heute in Fahrzeugen verfügbaren Fahrzeugsensorik untersucht. Verschiedene Studien aus der Literatur zeigen auffälliges Lenk- und Spurhalteverhalten abgelenkter Fahrer. Darauf basierend wird mit Hilfe maschinellen Lernens ein Algorithmus zur Fahrerzustandserkennung entwickelt, der eine prinzipielle Verwendbarkeit dieses Ansatzes aufzeigt.

Die beschriebenen Methoden zur Fahrerzustandserkennung werden im zweiten Teil der Arbeit hinsichtlich einer konkreten Anwendung im Bereich der Spurhalteassistenzsysteme untersucht. Fremde und eigene experimentelle Studien zur adaptiven Parametrierung von Spurhalteassistenzsystemen zeigen, dass diese Anpassungen im realen Straßenverkehr nicht nur zu einer objektiven Verbesserung der Spurhaltung und damit der Verkehrssicherheit führen, sondern dass diese von den Probanden auch positiv beurteilt werden. Für eine Fahrerzustands-adaptive Auslegung von Spurhalteassistenten eignen sich dabei vorrangig Blickbewegungsdaten und die Erfassung von Bedienhandlungen. Schätzungen des Fahrerzustands über Lenkverhalten und die Kopforientierung des Fahrers sind weniger geeignet.

Zusammenfassend gibt diese Arbeit damit einen Einblick in verschiedene Methoden einer Fahrerzustandserfassung im Fahrzeug und zeigt basierend darauf den Akzeptanz-

und Sicherheitsgewinn einer Fahrerzustands-adaptiven Auslegung von Spurhalteassistenzsystemen.

## **Fahrerzustandserkennung zur Optimierung von Spurhalteassistenzsystemen**





## 1. Einleitung

---

### 1.1. Motivation

Die technische Entwicklung moderner Fahrerassistenzsysteme ermöglicht zunehmend eine Unterstützung des Fahrers nicht nur in Grenz- oder Gefahrensituationen, sondern auch bei der Durchführung der „normalen“ Fahrtätigkeit. Während erste Systeme im Bereich der Längsführung nur eine konstante Geschwindigkeit halten konnten (Tempomaten), regelten erste adaptive Tempomaten über die Nutzung eines Radars zunächst in einem begrenzten Geschwindigkeitsbereich und mit einer begrenzten Verzögerung selbständig den Abstand zu vorausfahrenden Fahrzeugen. Moderne Geschwindigkeitsregelanlagen ermöglichen inzwischen eine Regelung von 250 km/h bis in den Stillstand („full range“) und gewährleisten darüber hinaus teilweise schon das erneute Anfahren (Winner, Danner und Steinle 2009; Limbacher und Färber 2010). Mit der Einführung von Notbremsassistenten, die bei drohender Kollision diese verhindern oder wenigstens durch eine Reduktion der Eigengeschwindigkeit die Folgen verringern, wird auch die bislang vorhandene Beschränkung der maximalen, vom System initiierten Verzögerung des Fahrzeugs erweitert (Winner 2009). In den nächsten Jahren wird eine bessere Objekterkennung zum Beispiel auch die Regelung auf Fußgänger ermöglichen (Schiele und Wojek 2009), so dass Schritt für Schritt der Weg zu einer automatischen Längsführung beschritten wird.

Im Gegensatz dazu ist im Bereich der Querführung bislang ein deutlich geringerer Automatisierungsgrad festzustellen. Die ersten Assistenzsysteme in diesem Bereich waren Spurverlassenswarner, die auch als „Spurwächter“ oder aus dem Englischen als „Lane-Departure-Warning“-Systeme (kurz: LDW-Systeme) bezeichnet werden (Knoll, Marwitz, Ostertag, Pflug, Roth und Spiegelberg 2006). Citroën brachte 2005 als erster europäischer Hersteller ein solches System für Personenkraftfahrzeuge auf den Markt.

Durch eine optische Erfassung der Spurmarkierungen sind diese Systeme in der Lage, den Fahrer kurz vor einem Spurverlassen zu warnen, wenn dieser nicht durch die Betätigung des Blinkers einen Fahrspurwechsel anzeigt. LDW-Systeme übernehmen somit noch keine Teile der Querführungsaufgabe, sondern warnen nur in Grenzsituationen (Gayko 2009a). Eine Weiterentwicklung stellen die im deutschen Sprachraum als „Heading-Control“-Systeme (kurz: HC-Systeme) bezeichneten Assistenten dar. Volkswagen brachte 2008 als erster deutscher Hersteller ein solches System auf den Markt (Rohlf, Schiebe, Kirchner, Müller, Kayser et al. 2008). Im Unterschied zum LDW-System wird dem Fahrer hier nicht mehr nur eine ungerichtete Warnung zur Verfügung gestellt. Ein Heading-Control-System gibt über Lenkmomente am Lenkrad konkrete Handlungsanweisungen beziehungsweise eine direkte Handlungsunterstützung und hilft so, das Fahrzeug in die richtige Richtung zu lenken und nicht von der Spur abzukommen. Bezogen auf die Eingriffsalgorithmen gibt es hier zwei Varianten:

Zum einen existieren Systeme, die wie LDW-Systeme nur im Randbereich der Spur eingreifen. Dazu zählt zum Beispiel das System, das im VW Passat CC seit dem Modelljahr 2008 erhältlich ist. Solche Systeme sind wie LDW-Systeme als Sicherheitsfunktionalitäten anzusehen, die in Grenzsituationen - also einem vermeintlich unbeabsichtigtem Spurverlassen - eingreifen.

Zum anderen gibt es kontinuierlich arbeitende Spurhalteassistenten (Gayko 2009b), die eine stärkere Unterstützung in der Querführung bieten und zum Beispiel im Modell LS von Lexus oder im Audi A6 und A7 ab 2011 verfügbar sind. Im Unterschied zu einem „späten“ Eingriff wie im VW Passat regeln diese Systeme kontinuierlich in Richtung Fahrspurmitte. Diese Systeme sind nicht als Sicherheitssysteme sondern als Komfortsysteme zu betrachten, die den Fahrer direkt bei der Querführung entlasten sollen.

Ein wesentlicher Unterschied im Vergleich zu den adaptiven Tempomaten ist nach wie vor, dass die Querführungsassistenz - auch die kontinuierliche - nur einen

unterstützenden Charakter und keinen ersetzenden hat. Im Falle der Längsführungsassistenten ist durch den hohen Automatisierungsgrad die Aufgabenverteilung letztendlich geklärt. Der Fahrer überwacht die Funktionsweise des Systems und greift ein, wenn das System funktional an eine Grenze kommt. Bei HC-Systemen bleibt die Führung des Fahrzeugs aber nach wie vor dem Fahrer überlassen. Das System unterstützt kontinuierlich oder greift vor einem Spurverlassen ein, fährt jedoch nicht selbständig. Erkennt das System, dass der Fahrer die Hände vom Lenkrad genommen hat, schaltet es sich ab. An dieser Stelle ergibt sich ein Problem: Das System soll den Fahrer unterstützen, in dem es Handlungshinweise hinsichtlich einer möglicherweise besseren Spurführung gibt, ohne dabei die Querführung komplett zu übernehmen. Eine derartige Unterstützung kann nur dann angemessen sein, wenn die Assistenz auf die jeweilige Situation des Fahrers beziehungsweise seine Absichten und seinen Zustand angepasst ist. Die Berücksichtigung des Fahrers erfolgt aber nur über die Betätigung des Blinkers, was kein ausreichend gutes Kriterium bezüglich der Fahrerabsicht ist. So zeigen Verkehrsbeobachtungen von Moetsch (2005), dass Autofahrer in Deutschland nur bei etwa der Hälfte der Spurwechsel auf Autobahnen und bei einem Drittel der Spurwechsel im Stadtverkehr den Blinker benutzen. Zwangsläufig stimmen damit die Unterstützung des Systems auf der einen Seite und der Unterstützungsbedarf beziehungsweise –wunsch des Fahrers auf der anderen Seite häufig nicht überein. Die Folge davon sind Akzeptanzprobleme gegenüber solchen Querführungsassistenten, die in verschiedenen Studien gezeigt wurden.

Alkim, Bootsma und Hoogendoorn (2007) untersuchten über mehrere Monate in einer umfangreichen Studie ein LDW-System im realen Verkehr. Das Akzeptanz-Urteil fassen sie mit dem Kommentar eines der Fahrer zusammen: „*Annoying, but effective!*“. Das heißt, dass zwar ein Sicherheitsgewinn durch die Spurverlassenswarnungen wahrgenommen wurde, dass die Versuchspersonen die Warnungen jedoch auch immer wieder als störend empfanden, weil sie unangemessen waren. Wie angemessen Spurverlassenswarnungen eines LDW-Systems objektiv zu beurteilen sind, wurde in einer Studie von LeBlanc, Sayer, Winkler, Ervin, Bogard et al. (2006) untersucht. In dieser

Studie fuhren die Probanden einen Monat lang mit einem LDW-System im realen Straßenverkehr, so dass ausreichend Gelegenheit bestand, sich mit dem System vertraut zu machen und sich an die Warnungen zu gewöhnen. Gesteuert durch die Spurverlassenswarnungen wurden Fahrzeugdaten, wie zum Beispiel die Spurposition und die Eigengeschwindigkeit, sowie Videos mehrerer Kameras im Innenraum und außerhalb des Fahrzeugs aufgezeichnet. 854 zufällig ausgewählte Spurverlassensereignisse wurden nach Abschluss der Fahrten dahingehend untersucht, welche objektiven Gründe für die Warnung vorlagen und wie die Fahrer auf die Warnungen reagierten. Abbildung 1.1 zeigt die prozentualen Anteile der einzelnen Warnungs-Kategorien.

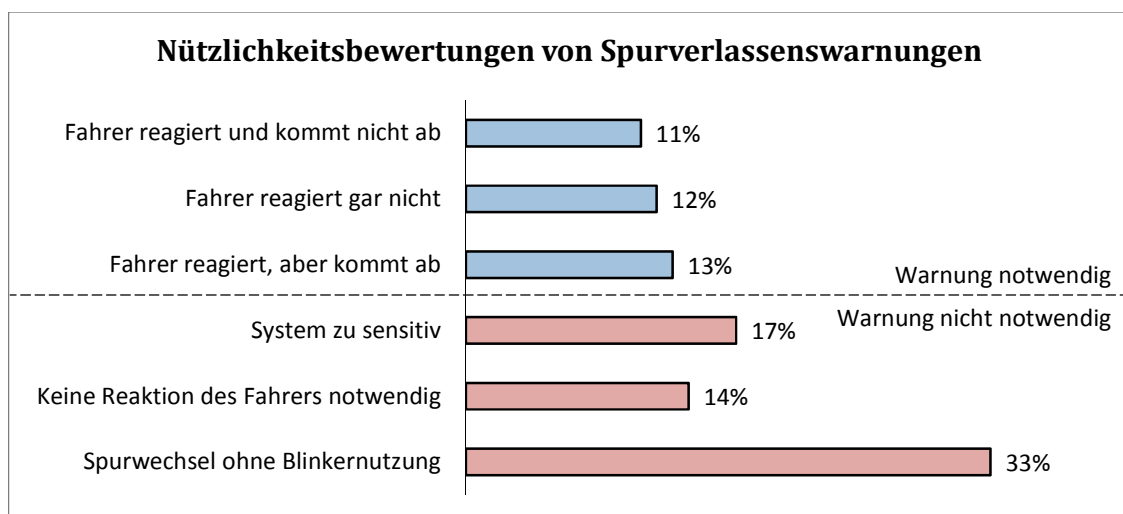


Abbildung 1.1: Nützlichkeitsbewertungen von Spurverlassenswarnungen

Eine Spurverlassenswarnung ist nur dann notwendig, wenn ein Fahrer unabsichtlich eine Spurmarkierung überfährt. Die Gründe dafür können vielfältig sein. Hauptfaktoren sind Unaufmerksamkeit beziehungsweise Ablenkung und Müdigkeit (vgl. McLaughlin, Hankey, Klauer und Dingus 2009). Betrachtet man die Abbildung 1.1, wird deutlich, dass nur für einen Teil der erfassten Warnungen diese Gründe zutreffen. Bei 33 % der Warnungen wurde ein Spurwechsel durchgeführt, ohne dass der Blinker betätigt wurde (vgl. Moetsch 2005). Bei 17 % der Warnungen reagierte das System zu sensitiv, das

heißt, es warnte, obwohl der Fahrer die Spur nicht zu verlassen drohte. In weiteren 14 % der Fälle reagierte das System, weil das Fahrzeug driftete, aber es bestand keinerlei Notwendigkeit des Fahrers zu reagieren.

Die Ergebnisse zeigen weiter, dass auch die notwendigen Warnungen größtenteils unzureichend beziehungsweise unabhängig des tatsächlichen Fahrerzustands erfolgten. Nur bei 11 % der Warnungen reagierte der Fahrer rechtzeitig genug, so dass das Fahrzeug die Fahrspur nicht verließ. In 13 % der Fälle reagierte der Fahrer zwar auf die Warnung, diese kam jedoch so spät, dass er trotzdem von der Spur abwich. Weiter fanden sich 12 % an Warnungen, bei denen der Fahrer gar nicht reagierte, obwohl dies notwendig gewesen wäre.

Auch wenn das Auftreten von Warnungen stark vom jeweiligen Algorithmus zur Vorhersage des Spurverlassens abhängig ist, ist anzunehmen, dass auch Algorithmen anderer Systeme ähnlich viele Fehlwarnungen produzieren, wie das bei LeBlanc et al. (2006) eingesetzte System. Dabei ist dieser hohe Anteil an falschen Warnungen nicht nur ein Akzeptanzproblem. Zabyszny und Ragland (2003) konnten zeigen, dass Fehlwarnungen zu einer Verringerung des Warncharakters führen, was verzögerte Reaktionen des Fahrers nach sich zieht und somit den potentiellen Sicherheitsgewinn eines Systems reduziert.

Die Daten zeigen letztendlich ein typisches Problem bei der Parametrierung von Warnschwellen vieler Fahrerassistenzsysteme. Vergleicht man die Warnungen, finden sich einerseits Situationen, in denen das System zu sensitiv war beziehungsweise zu früh warnte („System zu sensitiv“) und andererseits Warnungen, die offensichtlich zu spät kamen („Fahrer reagiert, aber kommt ab“). Einerseits soll ein solches System einen möglichst großen Sicherheitsgewinn bieten. Dies bedeutet, dass die Warnungen oder Eingriffe möglichst früh erfolgen müssen, um dem Fahrer ausreichend Zeit zum Reagieren zu geben. Andererseits führen frühe Warnungen dazu, dass häufiger unnötig gewarnt wird, weil Fahrer auch bei aufmerksamer Fahrweise immer etwas in der Fahrspur pendeln. Da die Warnstrategie nur einen Schwellenwert berücksichtigt, der

einen Kompromiss zwischen dem Sicherheitsgewinn und der Anzahl an Fehlwarnungen darstellt, finden sich sowohl Fehler der einen als auch der anderen Art.

Die Lösung dieser Probleme ist naheliegend. Fahrerassistenzsysteme im Allgemeinen und Querführungsassistenz im Speziellen müssen derart intelligent gestaltet werden, dass sie sich stärker an den Fahrer anpassen. Nur wenn eine Fahrerassistenz als situative Unterstützung ausgelegt wird, kann der Fahrer in dem Maße unterstützt werden, wie er es benötigt. Eine solche situative Unterstützung erfordert aber nicht allein eine Verbesserung des Assistenzsystems auf Seiten der Umfelderkennung, sondern verlangt vielmehr den Fahrer selbst als einen Teil des Systems Fahrer-Fahrzeug-Umwelt zu sehen und ihn als wichtige Eingangsgröße für die Systemregelung zu berücksichtigen. Dabei gibt es zwei Bereiche, auf die ein solcher Fokus gelegt werden muss: die Absichten und der Zustand des Fahrers.

Betrachtet man die Abbildung 1.1. könnten über eine Erkennung der Fahrerabsicht die Warnungen von Querführungsassistenzsystemen bei Spurwechseln und Überholmanövern ohne die Nutzung des Blinkers verringert werden (vgl. Blaschke, Schmitt und Färber 2008). Über eine Berücksichtigung des Fahrerzustands sollten auch die anderen Warnungen optimiert werden können. Wird ein Fahrer zum Beispiel als unaufmerksam erkannt und kommt von der Fahrspur ab, könnte die Warnung früher erfolgen. Ist davon auszugehen, dass der Fahrer aufmerksam ist, könnten Warnungen ausbleiben.

Grundlage für diese Form der adaptiven Fahrerassistenz ist eine Erkennung des Fahrerzustands und der Fahrerabsichten. Diese Arbeit beschäftigt sich mit den Möglichkeiten der Erkennung des Fahrerzustands und den daraus resultierenden Möglichkeiten zur Anpassung von Spurhalteassistenzsystemen.

## **1.2. Zielsetzung**

Diese Arbeit verfolgt im Wesentlichen zwei Ziele. Im ersten Teil dieser Arbeit soll zunächst ein genereller Einblick in die Möglichkeiten zur Erkennung von Ablenkung im Fahrzeug als einer Facette des Fahrerzustands gegeben werden. Da dieses Thema bei der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen zunehmend an Bedeutung gewinnt, soll diese Arbeit allen in diesem Bereich beschäftigten Ingenieuren, Psychologen und fachnahen Personen die Möglichkeit bieten, sich damit vertraut zu machen. In der Literatur finden sich verschiedene Methoden zur Schätzung der Ablenkung des Fahrers, die teilweise nur erste Ansätze darstellen und viele Fragen unbeantwortet lassen. Daher wurden neben der Beschreibung bisheriger Erkenntnisse eigene Experimente durchgeführt, die einen Teil dieser Fragen beantworten. In drei Kapiteln dieser Arbeit wird der aktuelle Forschungsstand verschiedener Methoden einer Fahreraufmerksamkeits- beziehungsweise Ablenkungsschätzung beschrieben, so dass Interessierte einen tieferen Einblick in deren Potential sowie deren Vor- und Nachteile erhalten.

Das zweite Ziel dieser Arbeit ist es, die generellen Möglichkeiten der Ablenkungserkennung konkret auf Spurhalteassistenzsysteme anzuwenden und diese somit zu verbessern. Auch in diesem Bereich gibt es erste Forschungsprojekte und Erkenntnisse, die hier zusammengetragen und deren offene Fragen durch ein eigenes Experiment beantwortet werden. Die so zusammengetragenen Erkenntnisse dienen speziell der Verbesserung von aktuellen Spurhalteassistenzsystemen, können aber auch in andere Assistenzbereiche übertragen werden.

Insgesamt soll diese Arbeit einen Einblick in die Methoden einer Ablenkungsschätzung und den Nutzen einer Fahrerzustands-bezogenen Adaption von Fahrerassistenzsystemen geben. Der Einblick führt die bisher teilweise singulären Erkenntnisse zusammen und bietet eine Grundlage und Motivation für die weitere Entwicklung von Systemen zur Fahrerzustandserfassung und der Verbesserung zukünftiger Fahrerassistenzsysteme.

### 1.3. Gliederung der Arbeit

Um ein ausreichendes Verständnis für die späteren Diskussionen zu schaffen, behandelt das Kapitel 2 zunächst die Themen Fahrerzustand und Ablenkung aus wissenschaftlicher Sicht. In Kapitel 2.1 und 2.2 werden dazu die Konstrukte *Aufmerksamkeit und Ablenkung* beschrieben und abgegrenzt. In Kapitel 2.3 finden sich diesbezügliche Unfallstatistiken, die den Einfluss von Ablenkung bei Verkehrsunfällen zeigen. Darauf aufbauend wird der Bedarf der Erkennung von Ablenkung beim Autofahren deutlich. In Kapitel 2.4 wird abschließend diskutiert, inwieweit ein Grad an Ablenkung des Fahrers in einem Fahrzeug erfasst werden könnte. Damit wird eine Grundlage für die Abschätzung des Potentials verschiedener diesbezüglicher Methoden in den folgenden Kapiteln geschaffen.

Kapitel 3 bis 5 geben einen Einblick in Methoden zur Echtzeit-Erfassung der Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers in Kraftfahrzeugen. Dabei werden nur Konzepte berücksichtigt, die in den nächsten Jahren aufgrund ihrer technischen Realisierbarkeit in Serienfahrzeugen denkbar sind. Neben der Darstellung der Methoden erfolgt in jedem Kapitel abschließend eine Diskussion der Vor- und Nachteile.

Kapitel 3 behandelt die Erfassung der Wahrnehmung des Fahrers und eine darauf basierende Schätzung der Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers. Zunächst wird in Kapitel 3.1 die Bedeutung von Wahrnehmung beim Autofahren genauer dargestellt. Kapitel 3.2 gibt einen Überblick über bisherige Forschungsprojekte und Studien, in denen die Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers aufgrund von *Blickbewegungen* geschätzt wurde. In Kapitel 3.3 ist eine eigene Studie dargestellt, in der das Potential einer Aufmerksamkeitsschätzung über die *Kopforientierung* des Fahrers näher untersucht wird.

Kapitel 4 beinhaltet Möglichkeiten, wie die Durchführung einer Nebentätigkeit selbst erfasst werden kann. Neben einem Überblick über Forschungsarbeiten, die eine *Positionserfassung von Körperteilen* des Fahrers untersuchen (Kapitel 4.1), findet sich



dort eine eigene Studie, in der die Schätzung der Fahrerablenkung über die *Bedienung von Infotainment-Systemen* im Fahrzeug untersucht wird (Kapitel 4.2).

Methoden, mit Hilfe derer schon heute über *in Fahrzeugen verfügbaren Sensordaten* auf Beanspruchung geschlossen werden kann, werden in Kapitel 5 betrachtet. Bisherige Forschungsprojekte, in denen CAN-BUS Daten zur Vorhersage genutzt wurden, werden in Kapitel 5.1 dargestellt. In Kapitel 5.2 wird ein eigener Ansatz beschrieben, der die Unzulänglichkeiten der bisherigen Studien berücksichtigt und das Potential einer Beanspruchungsschätzung über Fahrzeugdaten klarer zeigt.

In Kapitel 6 endet der erste Teil dieser Arbeit. In diesem Kapitel werden die Erkenntnisse der Methoden zur Erkennung der Aufmerksamkeitsausrichtung und einer darauf basierenden Schätzung einer Ablenkung des Fahrers noch einmal zusammengefasst und diskutiert.

Mit dem Kapitel 7 beginnt der zweite Teil dieser Arbeit. Dort wird der Fokus auf *Spurhalteassistenzsysteme* und die Anpassung dieser an den Fahrerzustand gelegt. Zunächst werden in Kapitel 7.1 aktuelle Systeme beschrieben, wobei auf verschiedene Varianten und deren technische Realisierung eingegangen wird. Kapitel 7.2 beschäftigt sich dann mit Studien zur Wirksamkeit, zum Nutzen und zur Akzeptanz gegenüber den heutigen Systemen. Gerade in Hinblick auf die anschließende Diskussion Fahrerzustands-adaptiver Spurhalteassistenzsysteme sind diese Informationen maßgeblich.

Kapitel 8 beschäftigt sich dann mit den Möglichkeiten einer *Anpassung von Spurhalteassistenzsystemen* an den Aufmerksamkeitsgrad des Fahrers. Die Diskussion der Anwendbarkeit der in dieser Arbeit dargestellten Methoden zur Ablenkungsschätzung findet sich in den Kapiteln 8.1 bis 8.3. Dort werden sowohl bisherige Studien anderer Forschungsinstitute, als auch die Ergebnisse eines eigenen Projekts dargestellt.

Eine solche Unterstützung des Fahrers kann auch negative Aspekte mit sich bringen. Daher wird in Kapitel 9 diskutiert, inwieweit sich schon jetzt *Verhaltensanpassungen an*

*Spurhalteassistenzsysteme* finden lassen und inwieweit die Weiterentwicklung der Systeme Verhaltensanpassungen erwarten lässt.

Eine abschließende *Zusammenfassung und Diskussion* der Erkenntnisse zur Fahrerzustands-adaptiven Gestaltung von Spurhalteassistenzsystemen findet sich in Kapitel 10.

In Kapitel 11 wird dann ein *Ausblick* auf weiteren Forschungsbedarf in den vorgestellten Themenfeldern gegeben.

I. Teil

Erfassung von Ablenkung im Fahrzeug

## 2. Hintergrund: Fahrerzustand und Ablenkung

---

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über das Konstrukt *Ablenkung beim Autofahren*. Dazu ist es zunächst notwendig, eine Abgrenzung zum Begriff *Fahrerzustand* zu geben. Laut Kopf (2005) werden unter dem Oberbegriff *Fahrerzustand* eine Vielzahl von Faktoren zusammengefasst, die sich nach einem zeitlichen Bezug in drei Gruppen einteilen lassen. In der ersten Gruppe befinden sich *nicht oder nur langfristig veränderbare Faktoren*, zu denen zum Beispiel die Konstitution des Fahrers, die Fahrerfahrung, die Persönlichkeit und auch sensorische und motorische Fähigkeiten sowie Behinderungen zählen. Änderungen dieser Faktoren ziehen sich über Monate oder Jahre hin. Zu *mittelfristigen Faktoren* zählt Kopf Ermüdung, Alkohol- und Drogeneinfluss sowie momentane gesundheitsbedingte Einschränkungen, die innerhalb von Tagen oder Stunden veränderbar sind. Zu den *kurzfristigen Faktoren* (innerhalb von Minuten oder Sekunden veränderbar) zählt Kopf unter anderem gerichtete Aufmerksamkeit, Beanspruchung, Aktivierung, Emotionen und das Situationsbewusstsein.

Es ist naheliegend, dass all diese Faktoren mit unterschiedlichen Verhaltensweisen eines Fahrers einhergehen und somit unterschiedlich erfasst werden können. Diese Arbeit befasst sich nur mit den kurzfristigen Faktoren Aufmerksamkeit und Ablenkung, da diese bei der Anpassung von Fahrerassistenzsystemen einen großen Stellenwert einnehmen. Alle anderen Facetten des Fahrerzustands stehen aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht im Fokus dieser Arbeit und werden nur am Rande angesprochen.

Um die technischen Möglichkeiten zur Schätzung von Ablenkung diskutieren zu können, müssen zunächst die kognitiven Prozesse bezüglich Aufmerksamkeit und Ablenkung dargestellt werden. Daher wird zunächst ein kurzer Überblick über das theoretische Konstrukt Aufmerksamkeit gegeben (Kapitel 2.1). Darauf aufbauend wird Ablenkung definiert und ein Arbeitsmodell vorgestellt, das Ablenkung als fehlerhaften

Kontrollprozess der Situationsanforderungen darstellt (Kapitel 2.2). Im Kapitel 2.3 wird dann die Bedeutung von Ablenkung im Zusammenhang mit Verkehrsunfällen beschrieben. Kapitel 2.4 diskutiert abschließend, inwieweit der Grad an Ablenkung des Fahrers in einem Fahrzeug erfasst werden kann.

### **2.1. Aufmerksamkeit**

James (1890, S. 403-404) definierte Aufmerksamkeit wie folgt:

*„Everyone knows what attention is. It is the taking possession of the mind, in clear and vivid form, of one out of several possible objects or trains of thought. Focalisation, concentration of consciousness are of its essence. It implies withdrawal from some things in order to deal effectively with others.“*

Hierbei nennt James die wesentliche Funktion von Aufmerksamkeit: Die Selektion von relevanten Informationen (und die Deselektion irrelevanter Informationen) mit dem Ziel, diese (und nur diese) dem Bewusstsein beziehungsweise der Steuerung von Denken und Handeln zugänglich zu machen.

Posner und Rafal (1987) zerlegen Aufmerksamkeit in drei Teilkomponenten:

- Selektive Aufmerksamkeit
- Geteilte Aufmerksamkeit
- Daueraufmerksamkeit

Vor allem *Selektive Aufmerksamkeit* und *Geteilte Aufmerksamkeit* sind für die hier vorliegende Thematik von Bedeutung. Daher wird auf diese im Folgenden näher eingegangen

#### **2.1.1. Selektive Aufmerksamkeit**

Menschen sind stets einer großen Menge an sensorischen Informationen ausgesetzt. Während einer Autofahrt ist der Fahrer mit einer Vielzahl an visuellen Informationen wie der Form, Farbe, Position und Bewegung anderer

Verkehrsteilnehmer und der Umwelt konfrontiert. Hinzu kommen auditive, haptische und taktile Sinneswahrnehmungen. Dabei ist eine Vielzahl der Informationen für den Fahrer in der jeweiligen Situation völlig unbedeutend. Die *Selektive Aufmerksamkeit* stellt die Auswahl von relevanten Informationen aus der Umwelt dar. Dabei gilt es, in einer entsprechenden Situation die relevanten Informationen aus der Informationsflut der Umwelt auszuwählen und die nicht relevanten Informationen zu filtern.

Über die zugrundeliegenden Prozesse wurde viel diskutiert. Broadbent (1958) stellte die *Filtertheorie* oder auch *Theorie der frühen Auswahl* auf. Diese besagt, dass bei zwei gleichzeitig dargebotenen komplexen Informationen aus unterschiedlichen Quellen aufgrund der eingeschränkten kognitiven Verarbeitungskapazität eine Filterung der Informationen erforderlich ist. Nach der *Theorie der frühen Auswahl* erfolgt diese Filterung schon über physikalische Charakteristika der sensorischen Informationen (zum Beispiel dem Ohr), also bevor es zu einer tieferen kognitiven Verarbeitung kommt. Dabei gilt nach Broadbent (1958) das „Alles oder Nichts“ Prinzip. Einmal nicht beachtete Informationen sind „verloren“. Zweifel an dieser Form von Selektion hatte unter anderem Treisman (1964). Deren Experimente zeigten, dass parallel dargebotene Informationen (wie zum Beispiel unterschiedliche Gespräche links und rechts eines Zuhörers) nicht nur nach physikalischen, sondern auch nach semantischen Aspekten ausgewählt werden können. Ein klassisches Beispiel dafür ist der sogenannte „Cocktail-Party Effekt“. Auch wenn man sich mit jemandem im Gespräch befindet und nicht auf andere Gespräche achtet, hört man, wenn in der Nähe der eigene Name genannt wird. Treisman (1964) stellte in Bezug auf solche Beobachtungen die *Dämpfungstheorie* auf, nach der die aufgenommenen sensorischen Informationen eines Kanals gezielt gedämpft werden, aber kurzzeitig im sensorischen Speicher verbleiben, so dass bei Bedarf auch kurze Zeit später noch Aufmerksamkeit darauf gerichtet werden kann.

Deutsch und Deutsch (1963) schlugen als Alternative nicht eine Begrenzung der Wahrnehmung und Verarbeitung, sondern der Reaktionsmöglichkeiten vor (*Theorie der späten Auswahl*). Dabei unterschied sich ihre Theorie in einem entscheidenden Aspekt. Während bei Broadbent (1958) und Treisman (1964) von einem zentralen

„Flaschenhals“ ausgegangen wird, der die Gesamtleistung der kognitiven Verarbeitung oder der Wahrnehmung limitiert, nahmen Deutsch und Deutsch (1963) an, dass sensorische Informationen aus verschiedenen Quellen wahrgenommen und hinsichtlich ihrer Relevanz parallel über unterschiedliche sensorische Systeme verarbeitet würden. Die Selektion erfolgt nach Deutsch und Deutsch (1963) dann aber nach Abschluss dieser Relevanzbeurteilung und hinsichtlich der in der Situation sinnvollsten Reaktion.

Die damals entbrannte Diskussion um den Zeitpunkt der Selektion ist heute der differenzierteren Annahme gewichen, dass die Selektion je nach Situation möglichst früh erfolgt (vgl. Müller und Krummenacher 2003). Verlangt eine Aufgabe eine schnelle Auswahl oder stellt die Selektion selbst hohe Anforderungen, erfolgt eine Auswahl eher früh.<sup>1</sup>

Neuere Theorien zur selektiven visuellen Aufmerksamkeit fokussieren weniger auf die Diskussion zwischen früher und später Selektion, sondern beachten vielmehr, worauf die Aufmerksamkeitsausrichtung basieren kann. In ihrem klassischen Experiment konnten Posner, Nissen und Ogden (1978) zeigen, dass die Aufmerksamkeitszuweisung nicht zwangsläufig mit visueller Wahrnehmung über die Fovea einhergehen muss, sondern dass Aufmerksamkeit auch auf die periphere Wahrnehmung gelegt werden kann. Aus diesem und anderen Experimenten entstand die *Spotlightmetapher* der visuellen Wahrnehmung, nach der die Aufmerksamkeitszuweisung und die damit verbundene visuelle Wahrnehmung einem Scheinwerfer gleicht, der bestimmte Aspekte auf einer Bühne beleuchtet und andere im Dunkeln lässt. Untersuchungen von Erikson und St. James (1986) und Erikson und Yeh (1987) zeigen dabei, dass die Größe dieses Spotlights um mehrere Grade Sehwinkel variieren kann und in direktem Zusammenhang mit der Verarbeitungstiefe steht.

Eine Anwendung für den Fahrkontext ist naheliegend. Auch Autofahrer sind mit einer Vielzahl an Informationen konfrontiert und müssen die wichtigen Details extrahieren.

---

<sup>1</sup> Detailliertere Ausführungen über diese Theorien finden sich bei Müller und Krummenacher (2003) und Anderson (2001).

Dabei muss der Fahrer permanent allen potentiell relevanten Quellen Aufmerksamkeit zuweisen, um die in der Fahrsituation notwendigen Informationen verarbeiten zu können. Die Selektion dieser Informationen ist nur bis zu einer gewissen Kapazitätsgrenze möglich. Wird diese überschritten, besteht die Gefahr, dass relevante Informationen nicht wahrgenommen werden.

### **2.1.2. Geteilte Aufmerksamkeit**

Auch wenn die oben aufgeführten Studien die eingeschränkte Verarbeitungskapazität des Menschen zeigen, werden viele Tätigkeiten im alltäglichen Leben parallel ausgeführt. Beim Autofahren sind zum Beispiel viele Fahrer in der Lage, nicht nur das Fahrzeug sicher zu führen, sondern außerdem nebenbei noch mit den Beifahrern zu sprechen, Radio zu hören oder das Navigationssystem zu bedienen. Offensichtlich ist hier eine parallele oder gute sequentielle Bearbeitung verschiedener Aufgaben möglich.

Der Prozess der *Geteilten Aufmerksamkeit* bezeichnet die Organisation von Mehrfachaufgaben durch parallele oder sequentielle Bearbeitung (vgl. Posner und Rafal 1987). Hierbei stehen nicht die Auswahl und Selektion von sensorischen Informationen, sondern vor allem die Koordination der Aufmerksamkeitsverteilung und die damit verbundene Performanz in beiden Aufgaben im Vordergrund.

Grundsätzlich ergibt sich die Frage nach der Ressourcenstruktur, die schon im Rahmen der Selektiven Aufmerksamkeit angesprochen wurde. Je nachdem, ob von einem zentralen „Flaschenhals“ (Broadbent 1958) oder mehreren parallel arbeitenden Prozessen (Deutsch und Deutsch 1963) ausgegangen wird, ist mit mehr oder weniger großen Leistungseinbußen bei der Durchführung von Mehrfachaufgaben auszugehen. Die Idee mehrerer unterschiedlicher kognitiver Ressourcen anstatt einer zentralen wurde durch verschiedene Mehrfachaufgaben-Experimente untermauert. Eine der in diesem Zusammenhang anerkanntesten Theorien stammt von Wickens (1980). Dieser trug in einem meta-analytischen Ansatz eine Vielzahl von Experimenten mit



Mehrfachaufgaben zusammen. Dabei zeigte sich, dass teilweise zwei Aufgaben parallel ohne große Interferenz ausgeführt werden konnten, während dieselben Aufgaben in Kombination mit einer jeweils anderen Tätigkeit zu starken Leistungseinbußen führten (vgl. auch Wickens 2002). Damit liegt nahe, dass Aufgaben sich nicht nur quantitativ in den Leistungsanforderungen unterscheiden, sondern zusätzlich qualitative Aspekte hinsichtlich unterschiedlicher Ressourcen von Bedeutung sind. Darauf basierend stellte Wickens seine *Theorie* und später das dazugehörige *Modell der multiplen Ressourcen* auf. Die Abbildung 2.1 zeigt das Modell.

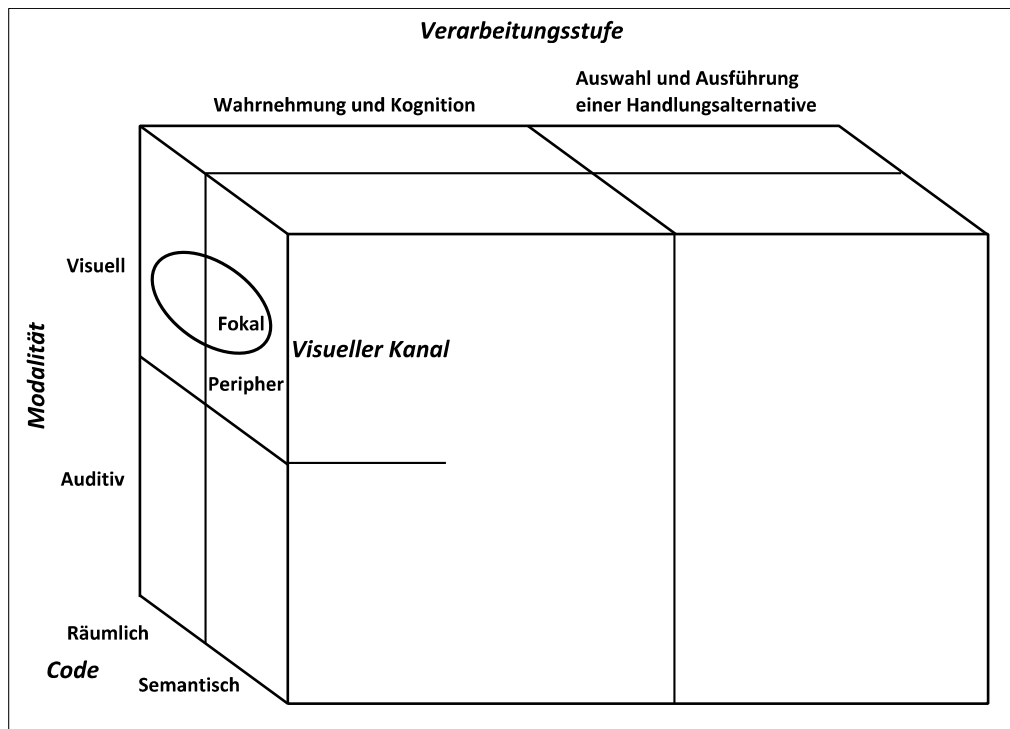


Abbildung 2.1: Das Modell multipler Ressourcen nach Wickens (2002)

Nach Wickens (1980, 2002) existieren vier Dimensionen mit je dichotomem Level, denen physiologische Mechanismen zugrunde liegen. Dabei postuliert er, dass die Ausführung zweier Aufgaben immer dann zu Interferenzen führt, wenn beide Aufgaben den gleichen Level einer Dimension benutzen.

Die einzelnen Dimensionen sind die „Verarbeitungsstufe“, die „Modalität“, der „visuelle Kanal“ und der „Code“. Wickens (1980, 2002) geht in seinem Modell von zwei Verarbeitungsstufen aus. Neben der „Wahrnehmung und Kognition“ existiert die Stufe „Auswahl und Ausführung einer Handlungsalternative“. Innerhalb der Modalitäten wird zwischen visueller und auditiver Wahrnehmung unterschieden, wobei innerhalb des visuellen Kanals nochmal nach fokalem und peripherem Sehen getrennt wird. Bei der Dimension „Code“ unterscheidet Wickens (1980, 2002) zwischen räumlichen und semantischen Inhalten.

Das *Modell multipler Ressourcen* wird in einigen Punkten kritisiert (vgl. Müller und Krummenacher 2003). Zunächst eignet es sich nicht dafür, Aussagen hinsichtlich einer strategischen und zeitlichen Inangriffnahme einzelner Aufgaben zu treffen (siehe dazu Kapitel 2.2.2). Ein weiterer Kritikpunkt ist, dass die Theorie (wie viele Vorgänger) davon ausgeht, dass die Kapazität der einzelnen Ressourcen mehr oder weniger fest innerhalb einer Person ist, beziehungsweise dass diese sich nur langsam im Laufe des Lebens ändern. Darauf basierend lassen sich zwar Situationen erklären, in denen der Mensch aufgrund zu vieler Informationen überfordert ist und die Aufgabenleistung abnimmt. Es ist jedoch nicht möglich, eine Leistungseinbuße in einer unterfordernden Situation (wie zum Beispiel bei monotoner Fahrt) zu erklären. Young und Stanton (2002) führen eine Reihe von Studien an, in denen solche Leistungseinbußen aufgezeigt werden konnten, obwohl die Bediener ausreichend Ressourcen zur Verfügung hatten. Um diese Ergebnisse zu erklären, greifen sie in ihrer *Theorie anpassbarer Aufmerksamkeitsressourcen* die Idee auf, dass die Ressourcen nicht fix, sondern ebenfalls veränderlich sind. In Situationen, die weniger Ressourcen bedürfen, wird deren Kapazität kurzfristig abgesenkt. Treten Ereignisse auf, die mehr als die verfügbaren Ressourcen benötigen, zeigen sich Leistungseinbußen. So plausibel diese Theorie auch in Hinblick auf die Ähnlichkeiten des umgekehrt U-förmigen Zusammenhangs zwischen Aufgabenleistung und der physiologischen Aktiviertheit erscheint (Yerkes und Dodson 1908), müssen erst weitere Belege diese Theorie stützen.

Unabhängig von der Kritik erweist sich das *Modell multipler Ressourcen* gerade deswegen als vorteilhaft, weil es pragmatische Ableitungen dahingehend erlaubt, wie unterschiedliche Nebentätigkeiten zum Beispiel mit dem Führen eines Fahrzeugs konfliktieren. Sobald Aufgaben innerhalb einer Dimension gleiche Ressourcen nutzen, ist mit Interferenzen zu rechnen. So erklärt die Theorie, warum Telefongespräche (auditive Wahrnehmung und semantischer Inhalt) keinen Einfluss auf die Spurhaltung (visuelle Wahrnehmung und räumlicher Inhalt) haben (vgl. Horrey und Wickens 2006). Ablenkung beim Autofahren aber mit einer Interferenz nach dem Modell von Wickens (2002) gleichzusetzen, wäre eine zu einfache Annahme. Denn zur Erklärung von Ablenkung müssen weitere Prozesse berücksichtigt werden (vgl. Kapitel 2.2).

### **2.2. Ablenkung**

#### **2.2.1. Definition**

In der Literatur findet sich eine Vielzahl von Definitionen von Ablenkung beim Autofahren (vgl. Lee, Young und Reagan 2008a). Dabei wird Ablenkung häufig irrtümlicherweise mit Unaufmerksamkeit gleichgesetzt. Klauer, Dingus, Neale, Sudweeks und Ramsey (2006) definieren Unaufmerksamkeit wie folgt:

*“... any event or epoch where drowsiness, driver-related inattention to the forward roadway, driver secondary tasks, or non-specific eyegance away from the forward roadway ...”*

Einhergehend mit dieser Definition wird Unaufmerksamkeit auch hier als ein Oberbegriff gesehen, unter dem sich, in Anlehnung an die Einteilung von Kopf (2005), kurzfristige (Ablenkung) und mittelfristige Faktoren (Müdigkeit) des Fahrerzustands subsumieren. Eine umfassende Diskussion unterschiedlicher Definitionen von Ablenkung findet sich in Lee et al. (2008a).

Dabei kategorisieren sie insgesamt vierzehn Definitionen von Ablenkung beim Autofahren verschiedener Autoren nach fünf Kriterien:

- Quelle der Ablenkung (Objekt, Person, Ereignis, Aktivität)
- Ort der Quelle (intern, innerhalb des Fahrzeugs, außerhalb des Fahrzeugs)
- Intentionalität (extern initiiert, intern initiiert)
- Prozess (Beeinträchtigung der Kontrolle, Teilung der Aufmerksamkeit, fehlerhafte Aufmerksamkeitszuweisung)
- Folge (verzögerte Reaktion, verminderte Kontrolle in Längs- und Querführung, vermindertes Situationsbewusstsein, verzögerte Entscheidungsfindung, erhöhtes Unfallrisiko)

Nach Lee et al. (2008a) sind die Definitionen teilweise redundant beziehungsweise teilweise zu restriktiv. Ihrer Meinung nach muss die Quelle einer Ablenkung nicht zwangsläufig auf ein Objekt oder eine Person bezogen sein. Vielmehr ist auch eine Kombination mehrerer Quellen denkbar. Daher heben sie den Begriff „Aktivität“ in den Vordergrund, der allgemeiner gehalten ist und alle Aspekte vereint.

Weiter kann Ablenkung Ihrer Meinung nach sowohl durch verschiedene Orte und vom Fahrer oder extern initiiert sein. Das heißt, dass Ablenkung sowohl durch einen Wunsch des Fahrers selbst entstehen (zum Beispiel das Suchen eines Getränks in einer Tasche) oder auch durch ein externes Ereignis hervorgerufen werden kann (zum Beispiel ein Unfall auf der anderen Straßenseite, der Aufmerksamkeit des Fahrers auf sich zieht).

Auch in Bezug auf den Prozess von Ablenkung sehen Lee et al. (2008a) viele bisherige Definitionen als zu restriktiv an. Ob durch die Ablenkung die Handlungskontrolle beeinflusst wird oder ob eine fehlerhafte Aufmerksamkeitszuweisung vorliegt: In beiden Fällen ist es ein Aspekt beziehungsweise ein Problem geteilter Aufmerksamkeit.

Eine Definition mittels der Folgen lehnen Lee et al. (2008a) ab, da nicht jede ablenkende Situation zu einer verlangsamten Reaktion oder einem Einfluss auf Längs- und Querführung führen muss.

Diese Überlegungen führen Lee et al. (2008a) zu folgender Definition von Ablenkung, die auch in dieser Arbeit als Grundlage genutzt wird:

*„Driver distraction is a diversion of attention away from activities critical for safe driving towards a competing activity.“*

### 2.2.2. Ablenkung als Kontrollverlust durch die Anforderungen der Situation

Für eine Vorhersage von Verkehrsunfällen (und damit einen Ansatzpunkt für die Entwicklung von Fahrerassistenz) ist die genannte Definition von Ablenkung zunächst nicht hilfreich. Denn dazu müsste genauer definiert werden, wie viel Aufmerksamkeit in einer bestimmten Situation für das sichere Führen eines Fahrzeugs („...critical for safe driving...“) benötigt wird und wie viel Aufmerksamkeit damit auf Nebentätigkeiten verlagert werden kann („...diversion of attention...“). Lee et al. (2008a) veranschaulichen das Auftreten von Unfällen aufgrund von Ablenkung als Überschneidungen zwischen den Anforderungen aus der Fahraufgabe und der Nebentätigkeit.

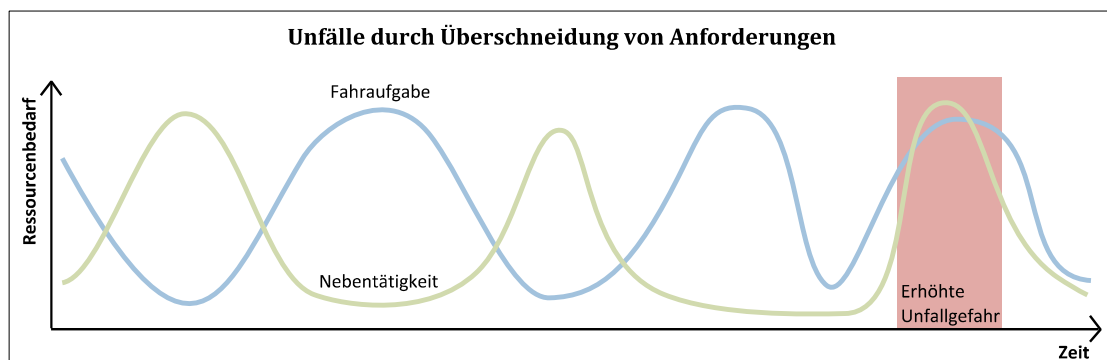


Abbildung 2.2: Anforderungen aus Fahraufgabe und Nebentätigkeit (Lee et al. 2008a)

Abbildung 2.2 zeigt, dass die Wahrscheinlichkeit für Unfälle besonders hoch ist, wenn die Anforderungen oder Beanspruchungen durch die Fahraufgabe die Kapazitäten des Fahrers übersteigen. Dies ist in diesem Fall durch die gleichzeitig durchgeführte Tätigkeit bedingt (roter Bereich).

Das wesentliche Problem ist, dass die Anforderungen aus der Fahraufgabe und der Tätigkeit dynamischen Schwankungen unterliegen und nicht immer vorhergesagt werden können. So kann zum Beispiel die Anforderung an die Fahraufgabe unerwartet ansteigen, wenn ein Kind auf die Straße läuft. In dieser Situation kann schon eine „leichte“ Nebenaufgabe ausreichen, um die Kapazitäten des Fahrers an seine Grenzen zu bringen und ein adäquates Handeln zu verzögern oder zu verhindern.

Auf der anderen Seite steuert der Fahrer aber den Einsatz und die Verfügbarkeit seiner Kapazitäten über die Wahrnehmung und Einschätzung der aktuellen Situation sowie seine Erfahrungen. Die dabei auftretenden Fehler sind dann als Ablenkung zu interpretieren.

Die Anforderungen der Situation auf der einen Seite und dem Fahrer, der sich diesen anpasst, auf der anderen Seite, sollen im Folgenden detaillierter beschrieben werden. Zunächst wird kurz auf Forschung zur Beanspruchung durch die Fahraufgabe eingegangen (Kapitel 2.2.2.1). Daran anschließend wird ein Modell von Lee, Young und Reagan (2008b) vorgestellt, das die Prozesse der Ressourcenverteilung bei der Inangriffnahme von Nebentätigkeiten des Fahrers beschreibt (Kapitel 2.2.2.2).

### **2.2.2.1. Beanspruchung durch die Fahraufgabe**

Laut Michon (1985) lässt sich die Fahraufgabe in drei hierarchische Ebenen einteilen. Die unterste Ebene ist die *Stabilisierungsebene* oder *Operationsebene*, die als Aufgaben das sichere Führen des Fahrzeugs innerhalb der Fahrspur und das Bremsen beinhaltet. Die nächst-höhere *Taktische Ebene* oder auch *Manöver-Ebene* vereint die vom Fahrer zu initiiierenden Fahrmanöver, wie die Wahl der Spur, aber auch das Verhalten an Kreuzungen und die Wahl des Abstandes zum Vordermann. Die *Strategische Ebene* beinhaltet als Aufgabe die Routenplanung und die damit verbundenen Überlegungen hinsichtlich zeitlicher Dauer, Risiko und Nutzen.

Für all diese Vorgänge ist eine adäquate Wahrnehmung erforderlich, die relevante von irrelevanten Informationen trennt (*Selektive Aufmerksamkeit*). Darauf aufbauend

müssen eine entsprechende Verarbeitung und die Auswahl einer geeigneten Handlungsalternative erfolgen, an die die motorische Ausführung anschließt. Je nach Verkehrssituation kann die Wahrnehmung, Verarbeitung oder Ausführung einer Handlung erschwert sein, was mit einer höheren Beanspruchung des Fahrers gleichzusetzen ist.

Erste diesbezügliche Untersuchungen fanden nach Hering (1999) schon in den sechziger Jahren statt. In der Folge davon gab es eine Vielzahl von Studien, die einzelne Aspekte der Verkehrssituation gezielt und im Zusammenhang mit anderen Fragestellungen auf ihre Beanspruchung für den Fahrer untersuchten. So finden sich beispielsweise bei Kantowitz (1995) und Gugerty (1997) Hinweise auf den Zusammenhang zwischen der *Verkehrsdichte* und der Beanspruchung des Fahrers.

Im Rahmen seiner Arbeit führt De Waard (1996) verschiedene Studien an, in denen über subjektive (zum Beispiel Befragungen) und objektive (zum Beispiel Blickerfassung oder Fahrverhaltensmaße) Messungen der Beanspruchung Unterschiede auf verschiedenen *Straßentypen* (Autobahn vs. Stadtring) festgestellt wurden. Eine weitere Veröffentlichung von De Waard, Jessurun, Steyvers, Raggatt und Brookhuis (1995) zeigt ähnliche Unterschiede durch *Fahrbahnmarkierungen*, die *Kurvigkeit* und die *Spurbreite*. Victor (2005) kommt aufgrund von Blickbewegungsanalysen ebenfalls zu dem Schluss, dass Kurven und Landstraßen im Vergleich zu Autobahnen höhere kognitive Anforderungen an den Fahrer stellen.

Hering (1999) legt bei seinen Untersuchungen einen Schwerpunkt auf die Unterscheidung zwischen verschiedenen *Fahrmanövern*. Dabei zeigt sich über unterschiedliche Maße, dass ein Abbiegen zu einer höheren Beanspruchung führt als das Folgen einer Straße. Hill und Boyle (2007) untersuchen den Stress, der durch Verkehrssituationen und Fahrmanöver ausgelöst wird. Dabei zeigen sie, dass neben der Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern auch das *Wetter* und die *Sicht* Stress auslösende Faktoren sein können.

Die exemplarisch vorgestellten Studien zeigen Unterschiede in der Beanspruchung der Fahrer in „normalen“ Verkehrssituationen. Hinzu kommen kritische Fahrsituationen.

Auch ohne einen Verweis auf die Literatur ist offensichtlich, dass zum Beispiel ein plötzlich auf die Straße laufendes Kind eine schnelle Reaktion in Form einer Notbremsung oder eines Ausweichmanövers erfordert.

An dieser Stelle muss die Unterscheidung zwischen Belastung und Beanspruchung getroffen werden. Die Belastungen stellen nach Udris und Frese (1999) Umweltfaktoren dar, die auf den Menschen einwirken. Als Umweltfaktoren können hier zum Beispiel die *Verkehrsdichte* oder der *Straßentyp* angesehen werden. Aus diesen Belastungen kann jedoch nicht direkt auf die individuellen Auswirkungen auf den Fahrer - die Beanspruchung - geschlossen werden (vgl. auch DIN EN ISO 10075). Je nach den Ressourcen und der Erfahrung von Fahrern kann eine identische Belastung zu unterschiedlichen Beanspruchungen führen. So finden sich in den Studien von Horberry, Anderson, Regan, Triggs und Brown (2006) und Hill und Boyle (2007) interindividuelle Unterschiede hinsichtlich der Beanspruchung durch die Umweltbelastungen. Diese sind nicht durch die aktuelle Aufmerksamkeitsausrichtung, sondern durch mittel- bis langfristige Merkmale wie zum Beispiel das Alter, die Fahrerfahrung und erlebte Unfälle der Individuen zu erklären.

Im Hinblick auf die Abbildung 2.2 ist damit festzuhalten, dass in einer speziellen Situation stets von einer Beanspruchung des Fahrers durch die Fahraufgabe beziehungsweise die Situation ausgegangen werden kann, dass aber deren Höhe nicht direkt bestimmbar ist. Zwar zeigt sich in verschiedenen Verkehrssituationen im Mittel eine mehr oder weniger hohe Beanspruchung in einer Fahrerpopulation. Jedoch hängt es von den Charakteristika des einzelnen Fahrers ab, wie hoch diese Beanspruchung individuell ist.

### **2.2.2.2. Der Fahrer und die Durchführung von Nebentätigkeiten**

Nach der Darstellung der aus der Fahraufgabe resultierenden Beanspruchung wird in diesem Abschnitt konkreter auf den Fahrer eingegangen. Der Fahrer ist innerhalb des Regelkreises Fahrer-Fahrzeug-Umwelt kein alleiniger Rezipient, der bei



gleichbleibender Kapazität die an ihn gerichteten Anforderungen sequentiell bearbeitet. Er zeigt vielmehr ein antizipierendes Vorgehen, um die aus der Umwelt resultierenden Anforderungen mit seinen eigenen Fähigkeiten bewältigen zu können. Das geplante und strategische Verhalten von Fahrern kann nach Lee et al. (2008b) in direkten Bezug zu dem hierarchischen Modell der Fahrzeugführung von Michon (1985) gebracht werden.

Auf *Operationsebene* steuert der Fahrer den Einsatz seiner kognitiven Ressourcen. Auf der *Taktischen Ebene* erfolgt das Timing des Wechsels zwischen Fahraufgabe und Nebentätigkeit und auf der *Strategischen Ebene* die Entscheidung zur Durchführung der Aufgabe anhand der Anforderungen der Fahrsituation.

Diese Ebenen beeinflussen sich gegenseitig, das heißt, dass Kontrollfehler auf einer Ebene Einfluss auf die anderen Ebenen haben können und somit auch dort eine fehlerhafte Steuerung zur Folge haben. Um das Verständnis zu erleichtern, wird im Folgenden genauer auf die einzelnen Ebenen und deren Wechselwirkung untereinander eingegangen.

### 2.2.2.2.1. Operationsebene

Auf der *Operationsebene* erfolgt die Einteilung der vom Fahrer verfügbaren kognitiven Ressourcen zwischen der eigentlichen Fahraufgabe und anderen Aktivitäten. Ausgehend vom Modell multipler Ressourcen von Wickens (2002) ist dabei sowohl eine teilweise unabhängige Verarbeitung zweier Aufgaben als auch das Auftreten von Interferenzen denkbar. Das Modell von Wickens erlaubt die Vorhersage des Einflusses einer Aktivität auf die Fahraufgabe, macht jedoch keine Aussage, nach welchen Kriterien oder Prozessen die Verteilung der Aufmerksamkeit erfolgt. Lee et al. (2008b) gehen davon aus, dass für die Kontrolle der Aufmerksamkeit drei Kontrollprozesse verantwortlich sind. Diese steuern die Aufmerksamkeit sowohl auf der *Operationsebene* als auch auf der taktischen und der strategischen Ebene.

Zunächst besteht eine Rückmeldung beziehungsweise ein *Feedback* („feedback control“) hinsichtlich der Güte der Ressourceneinteilung aus dem Vergleich zwischen dem Ziel (zum Beispiel sicheres Fahren und ein Navigationsziel eingeben) und dem aktuellen

Zustand (Fahrzeug befindet sich in der Mitte der Spur und die ersten drei Buchstaben des Ziels sind im Navigationssystem eingegeben). Werden mit der aktuellen Ressourcenverteilung die Ziele erreicht, kann diese beibehalten werden.

Als weiterer Kontrollprozess dient die *Antizipation* („feedforward control“) der Situation in der Zukunft. Je nachdem wie der Fahrer die Entwicklung der Verkehrssituation antizipiert und diese mit seinen Vorstellungen und Zielen übereinstimmt, passt er seine Ressourcenverteilung zugunsten der Fahraufgabe oder der Nebentätigkeit an. Auch wenn Lee et al. (2008b) nicht darauf verweisen, sind hier starke Parallelen zum Konstrukt „Situationsbewusstsein“ von Endsley (1995) zu erkennen. Zum „Situationsbewusstsein“ gehört, nach einer Erkennung und dem Interpretieren der Objekte in der Umgebung, im dritten Schritt eine Vorhersage der Situation in der Zukunft. Dazu gehört die Einschätzung der Bewegung und Position des Eigenfahrzeugs relativ zur Straße, aber auch im Verhältnis zu anderen Verkehrsteilnehmern. Genau wie Endsley (1995) sehen Lee et al. (2008b) dies als notwendigen Prozess, über den eine Einteilung der Aufmerksamkeitsressourcen erfolgt.

Der dritte Kontrollprozess nach Lee et al. (2008b) ist die *Adaptivität* („adaptive control“). Hierbei wird die Ressourcenverteilung dadurch geregelt beziehungsweise optimiert, dass die hinsichtlich der Aufgabenerreichung gesetzten Ziele angepasst werden. Durch die Reduzierung der Wichtigkeit eines Ziels müssen weniger Ressourcen eingesetzt werden, um dieses zu erreichen. Dadurch stehen mehr Ressourcen für die andere Aufgabe zur Verfügung. Ein Beispiel ist die Reduktion von Geschwindigkeit bei der Durchführung von Nebentätigkeiten (Horberry, Anderson, Regan, Triggs und Brown 2006; Törnros und Bolling 2006). Das gesetzte Ziel „schnell von A nach B kommen“ wird hier als weniger wichtig eingestuft. Dadurch erfolgt eine Reduzierung von Ressourcen auf Seiten der Fahraufgabe und zugunsten der Nebentätigkeit.

Die Steuerung der Aufmerksamkeitsverteilungen auf der *Operationsebene* ist über die drei genannten Prozesse mit Schwierigkeiten verbunden. Das *Feedback* einer Aktivität beim Autofahren ist nicht direkt genug. Beispielsweise erfolgt die Spurhaltung zum Teil

über periphere visuelle Wahrnehmung (vgl. Summala, Nieminen und Punto 1996; Summala, Lamble und Laakso 1998), so dass sich Nebentätigkeiten teilweise nicht sofort auf diese auswirken. Das *Feedback* der gewählten Ressourcenverteilung ist damit häufig positiv. Auch im Bereich der Längsführung ist negatives *Feedback* bei der Durchführung von Nebentätigkeiten nicht zwingend. Nur in kritischen Situationen, wie beispielsweise bei einem plötzlich bremsenden Vorfahrer, werden die Einschränkungen durch das Ausführen der Nebentätigkeit sichtbar. Durch viele Situationen, in denen keine große Regelung des Abstandes nötig und somit eine Nebentätigkeit möglich ist, erfolgt ein positives *Feedback*, das zu einer verstärkten Ressourcenzuteilung zur Nebentätigkeit führt.

Lee et al. (2008b) bewerten die Kontrollmöglichkeiten durch den zweiten Kontrollprozess, die *Antizipation*, ebenfalls als schlecht. Fahrer können zwar mehr oder minder die Verkehrssituation antizipieren und darauf aufbauend mehr oder weniger Ressourcen der Fahraufgabe und der Nebentätigkeit zuordnen. Durch die Seltenheit unvorhergesehener Ereignisse und dem nur dann resultierenden negativen *Feedback* ergibt sich auch hier eine vermehrte Aufmerksamkeitszuwendung zur Nebentätigkeit.

*Adaptivität* dient so lange als guter Kontrollprozess, bis eine Einschränkung der Ressourcen zu einem abrupten Leistungseinbruch in der Aufgabe führt. Solange beispielsweise die Zieleingabefunktion eines Navigationssystems keiner zeitlichen Beschränkung unterliegt (zum Beispiel durch ein System, das bei ausbleibender Bedienung automatisch wieder ins Hauptmenü wechselt), kann die Zieleingabe als weniger wichtiges Ziel priorisiert und mit Pausen durchgeführt werden. Ist jedoch durch das System bedingt eine zeitliche Beschränkung vorhanden, ist eine Anpassung des Ziels nicht möglich. Der Fahrer muss der Eingabe Aufmerksamkeit zukommen lassen, da sonst die komplette Durchführung der Aufgabe gefährdet wäre.

Die Beispiele zeigen selbstinitiierte Aktivitäten des Fahrers. Ablenkung kann jedoch auch extern und damit für den Fahrer unwillentlich hervorgerufen werden (siehe Kapitel 2.2.2). So kann beispielsweise eine dem Fahrer heruntergefallene Zigarette das Ziel: „Aufheben, bevor man sich verbrennt“ in seiner Priorität an erste Stelle setzen

(*Adaptivität*), was eine starke Ressourcenzuweisung dazu und einen Ressourcenabzug von der Fahraufgabe bedingt.

#### 2.2.2.2.2. Taktische Ebene

Die *Taktische Ebene* stellt nach Lee et al. (2008b) das Timing der Aufmerksamkeitszuwendung zwischen Fahraufgabe und Nebentätigkeiten dar. Auf dieser Ebene managt der Fahrer die zeitliche Bearbeitung im Gegensatz zu der Verteilung der Ressourcen auf der *Operationsebene*. Andere Autoren sprechen in diesem Zusammenhang auch von „task-switching efficiency“ oder „task-switching skill“, also überdauernden Fähigkeiten oder Strategien einer Person zum Wechsel zwischen mehreren Tätigkeiten (zum Beispiel Wickens 2002).

Menschen bearbeiten Aufgaben nicht seriell in der Reihenfolge, in der sie auflaufen, sondern können das Timing zwischen den Aufgaben intelligent regeln. Nach Lee et al. (2008b) sind beim Autofahren auch dafür die Kontrollprozesse des *Feedbacks*, der *Antizipation* und der *Adaptivität* verantwortlich. Hierbei gilt Gleiches wie auf der *Operationsebene*: Das *Feedback* aus dem permanenten Wechsel zwischen Fahraufgabe und Nebentätigkeit erlaubt dem Fahrer direkt seine Wechselstrategie hinsichtlich der Zielerreichung zu beurteilen. Über die *Antizipation* wird das Timing für die nächsten Sekunden bestimmt. Bei mangelnden zeitlichen Ressourcen erfolgt im Rahmen der *Adaptivität* eine Anpassung der Ziele.

Die Kontrolle auf *Taktischer Ebene* kann vor allem dann problematisch werden, wenn die Aufgaben gleichzeitige Aufmerksamkeitszuwendung verlangen. Plötzliche Anforderungen können nicht nur aus der Fahraufgabe entstehen, sondern auch aus unvorhergesehenen Ereignissen im Fahrzeug. Dabei sind nach Lee et al. (2008b) drei Eigenschaften von Aufgaben/Ereignissen kritisch für das Timing:

- nicht ignorierbare Aufgaben/Ereignisse
- unvorhersehbare Aufgaben/Ereignisse
- nicht unterbrechbare Aufgaben/Ereignisse

Probleme innerhalb der Kontrollprozesse auf der *Operationsebene* können sich auf der *Taktischen Ebene* auswirken. Eine fehlerhafte Ressourcenzuweisung zum Infotainment-System, die in einer falschen Eingabe resultiert, kann dazu führen, dass der Fahrer irritiert ist und im Rahmen des Timings sich erneut und zu lange dem System zuwendet, was die Aufmerksamkeitszuwendung zur Verkehrssituation reduziert.

### 2.2.2.2.3. Strategische Ebene

Auf der strategischen Ebene wird die Entscheidung getroffen, die Nebentätigkeit in einer bestimmten Situation oder allgemein beim Autofahren zu initiieren oder durchzuführen.

Dies hängt nach Lee et al. (2008b) von einer Reihe von Faktoren ab, wie

- dem Wissen über die Anforderungen der Aufgabe,
- der Bereitschaft ein Risiko einzugehen,
- Gesetzen, die die Nutzung verbieten oder nicht verbieten und
- weiteren kulturellen und sozialen Normen.

Wie auf der *Operationsebene* und der *Taktischen Ebene* erfolgt die Kontrolle über das *Feedback*, hier allerdings in Form von der Erfahrung mit den Nebentätigkeiten. Haben Fahrer Erfahrung mit der Durchführung und überwiegend positives *Feedback* bekommen, initiieren sie verstärkt die Tätigkeit. Aufgrund der Ungenauigkeit des *Feedbacks* unterschätzen viele Fahrer jedoch die Ablenkung und überschätzen ihre eigene Leistungsfähigkeit. In diesem Zusammenhang sei auf die Arbeit von Svenson (1981) verwiesen, in der 88 % der Fahrer angaben, besser als ein durchschnittlicher Fahrer zu fahren.

Wie auf den beiden anderen Ebenen findet sich auch hier eine schlechte Kontrolle im Rahmen der *Antizipation*. Die hohe Variabilität der Anforderungen von Verkehrssituationen ist meist nicht direkt zu erkennen. In vielen Bereichen sind die Anforderungen gering. Nur selten kommt es zu kritischen Situationen mit hoher

Beanspruchung. Diese Situationen werden aufgrund ihrer Seltenheit von den Fahrern kaum antizipiert, so dass Nebentätigkeiten unabhängig davon initiiert werden (Horrey und Lesch 2009).

Im Rahmen des Kontroll-Prozesses der *Adaptivität* führen Lee et al. (2008b) vor allem soziale und gesellschaftliche Normen als bedeutsam an. Das Hervorheben der Problematik von Unfällen durch Unaufmerksamkeiten beim Autofahren würde nach Meinung der Autoren das Ziel „Nebentätigkeiten beim Fahren durchzuführen“ durch das Ziel „sicher fahren“ ersetzen. Dadurch könnte eine bessere Kontrolle der Initiierung von Nebentätigkeiten durch Autofahrer erreicht werden.

Die strategische Ebene hat großen Einfluss auf die beiden anderen Ebenen, da hier überhaupt erst die Entscheidung für den Beginn einer Nebentätigkeit getroffen wird. Erfolgt dies in einer ungünstigen Verkehrssituation, wird das Timing auf der *Taktischen Ebene* schwieriger und fehleranfälliger und beeinflusst auch die Ressourcenverteilung auf der *Operationsebene*. Umgekehrt können Schwierigkeiten auf der *Operationsebene* und der *Taktischen Ebene* dazu führen, dass sich die Ausführung von Nebentätigkeiten verlängert, die Verkehrssituation wechselt und erneut eine Entscheidung hinsichtlich der Durchführung getroffen werden muss.

### **2.2.2.3.     *Diskussion: Ablenkung als Kontrollverlust durch die Anforderungen aus der Situation***

Fahrer werden je nach Verkehrssituation mit wechselnden Anforderungen konfrontiert. Während das Fahren auf der Autobahn bei Richtgeschwindigkeit und trockener Straße verhältnismäßig wenig Anforderungen an den Fahrer stellt, können die Anforderungen bei Verlassen der Autobahn und Einfahrt in dichten Stadtverkehr schnell ansteigen. Neben diesen „vorhersehbaren“ Änderungen der Verkehrssituationen führen „unvorhersehbare“ fahrtbezogene Ereignisse, wie zum Beispiel ein auf die Straße laufendes Kind, zu unvermittelt hohen Anforderungen. Fahrer sind stets bestrebt,

ausreichend kognitive Ressourcen für die Bewältigung dieser Anforderungen bereitzustellen.

Daneben besteht während der Fahrt eine Reihe weiterer Anforderungen, die aus Zielen des Fahrers oder unvorhergesehenen, nicht fahrtbezogenen Ereignissen resultieren. Hierzu kann zum Beispiel ein geschäftliches Telefonat zählen, wie auch ein Unfall auf der anderen Straßenseite, der die Aufmerksamkeit des Fahrers auf sich zieht.

Der Fahrer versucht seine Aufmerksamkeit so zu teilen, dass die Ziele ihrer Wichtigkeit nach erreicht werden können. Das Modell von Lee et al. (2008b) zeigt einen Kreislauf, der die Inangriffnahme der Tätigkeiten zu erklären versucht. Über die Rückmeldung aus der Situation (*Feedback*), die Schätzung des Verlaufs der Situation (*Antizipation*) und die Wichtigkeit der gesetzten Ziele (*Adaptivität*) erfolgt eine Initiierung einer Nebentätigkeit, das Timing des Wechsels zwischen Fahraufgabe und Nebentätigkeit und die Ressourcenverteilung. Aufgrund der teilweise schlechten Steuerung über die drei Kontrollprozesse kann es seitens des Fahrers zu Fehleinschätzungen hinsichtlich des Ressourcenbedarfs kommen. Die Gründe dafür liegen entweder in unerwarteten Anforderungen aus der Verkehrssituation oder den unerwarteten Anforderungen aus einer Nebenaktivität. Beides führt dazu, dass die der Fahraufgabe zugeteilten Ressourcen nicht den notwendigen Bedarf decken (vgl. Abbildung 2.2). Die Folge davon kann ein Unfall sein. Ablenkung ist somit nicht nur eine Überforderung begrenzter Ressourcen des Fahrers, sondern eine Folge fehlerhafter Kontrollprozesse, welche der Fahraufgabe zu wenig Aufmerksamkeit zuteilen.

### **2.3. Ablenkung und Verkehrsunfälle**

Während die bisherigen Kapitel die Grundlagen und Prozesse von Aufmerksamkeit und Ablenkung beschrieben haben, soll hier näher darauf eingegangen werden, inwieweit sich Ablenkung auf Unfälle im Straßenverkehr auswirkt. Eine dahingehende Aufschlüsselung findet sich in den deutschen Unfallstatistiken des Bundesamtes für Statistik leider nicht. Einige Studien aus den USA fokussieren aber explizit darauf. Eine der umfassendsten Analysen zur Häufigkeit von Verkehrsunfällen im

Zusammenhang mit Ablenkung basiert auf den Daten des „National Automotive Sampling System Crashworthiness Data System (CDS)“ in den USA. Diese Datenbank enthält etwa 5000 Verkehrsunfälle eines Jahres. Drei Studien (Stutts, Reinfurt, Staplin und Rodgman 2001; Wang, Knipling und Goodman 1996; Stutts, Feaganes, Reinfurt, Rodgmana, Hamlett et al. 2005) analysierten die CDS-Daten zwischen 1995 und 2003. Die Ergebnisse zeigen, dass bei 10,6 % bis 13,3 % aller Unfälle Ablenkung des Fahrers eine Rolle gespielt hatte. Eine genauere Analyse der Unfalltypen im Zusammenhang mit Ablenkung und Unaufmerksamkeit findet sich bei Eby und Kostyniuk (2004). Diese analysierten die Daten der CDS-Datenbank und teilten dabei fünf Unfalltypen ein. Die wesentlichsten Unfälle in Zusammenhang mit Unaufmerksamkeit waren Spurverlassensereignisse und Auffahrunfälle. Auch wenn in den Analysen teilweise eine große Anzahl an Unfällen berücksichtigt worden ist, sind die Ergebnisse mit Einschränkungen zu interpretieren und stellen vermutlich eine Unterschätzung des Einflusses von Unaufmerksamkeit dar (vgl. Gordon 2009). Eine Möglichkeit, diese Schätzfehler zu minimieren, kann durch „naturalistic-driving“-Studien erreicht werden, bei denen Fahrzeuge mit Messtechnik ausgestattet und dann Fahrern für einen beliebigen Zeitraum überlassen werden. Im Rahmen der „100-car-naturalistic-driving-study“ des Virginia Tech Transportation Institute (VTTI) wurden 100 Fahrzeuge im nördlichen Virginia beziehungsweise dem Großraum Washington DC entsprechend ausgestattet und insgesamt 241 Fahrern über einen Zeitraum von 18 Monaten zur Verfügung gestellt (Dingus, Klauer, Neale, Petersen, Lee et al. 2006). Neben 69 tatsächlichen Unfällen konnten Sensor- und Videodaten von 761 Beinahunfällen erfasst werden. Diese wurden mittels der aufgezeichneten Videobilder hinsichtlich einer Unaufmerksamkeit des Fahrers analysiert. Dabei wurde Unaufmerksamkeit innerhalb der „100-car-study“ in vier Kategorien gegliedert:

- Durchführen einer Nebentätigkeit (zum Beispiel Bedienung des Radios)
- fahrbezogene Unaufmerksamkeit (zum Beispiel Spiegelblicke)
- unspezifische Blickabwendung vom Fahrgeschehen (Grund dafür unklar)
- Müdigkeit



Die Analyse zeigte, dass in 78 % der Unfälle beziehungsweise 65 % der Beinahunfälle mindestens eine der Kategorien ein maßgeblicher Faktor war. Innerhalb dieser Vorfälle waren Nebentätigkeiten mit 40 % bis 43 % der häufigste Grund. Die Abbildung 2.3 zeigt die Häufigkeiten von Unfällen und Beinahunfällen für verschiedene Tätigkeiten innerhalb der Kategorie „Durchführen einer Nebentätigkeit“.

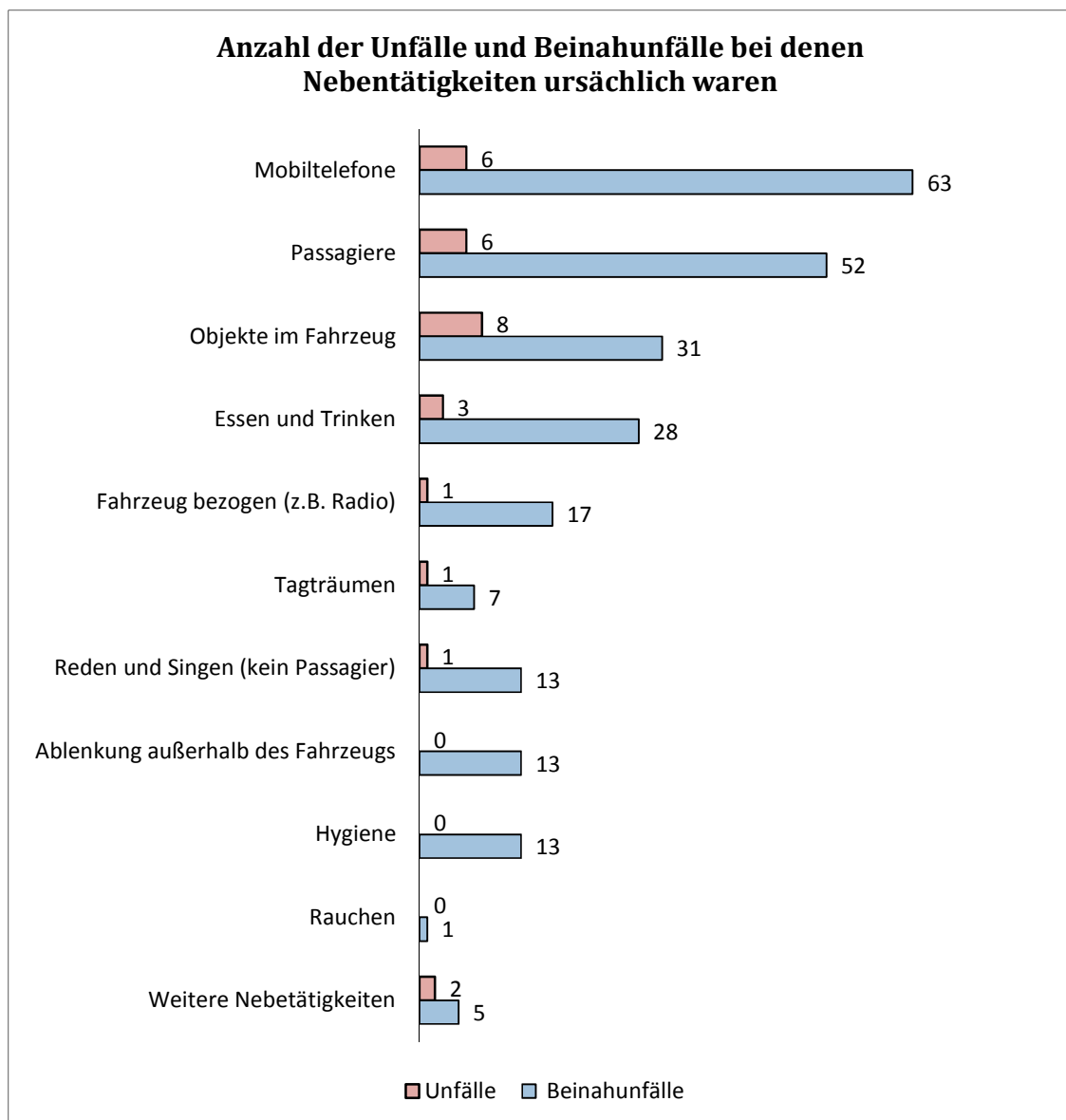


Abbildung 2.3: Anzahl der Unfälle und Beinahunfälle bei denen Nebentätigkeiten ursächlich waren (Dingus et al. 2006)

Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass Ablenkung meist in Form von Nebentätigkeiten beziehungsweise Aktivitäten (vgl. Kapitel 2.2.1) einen großen Anteil an Verkehrsunfällen hat. Damit wäre es wünschenswert, diese in Fahrzeugen erfassen zu können und darauf basierend Maßnahmen zur Verhinderung von Unfällen zu ergreifen.

### **2.4. Echtzeit-Erkennung von Ablenkung im Fahrzeug**

Die Frage ist nun, ob Ablenkung in einem Serienfahrzeug in Echtzeit erfassbar ist. Wie bereits erläutert, stellt Ablenkung eine Teilung der Aufmerksamkeit dar, bei der einer Aktivität so viel Aufmerksamkeit zugeteilt wird, dass die bei der Fahraufgabe verbleibende Aufmerksamkeit keine sichere Fahrzeugführung mehr zulässt. Um Ablenkung erkennen zu können, müssten also einerseits die für die Fahrsituation nötigen Aufmerksamkeitsressourcen und andererseits die vom Fahrer dafür bereitgestellten Ressourcen beziehungsweise die dahinterliegenden Kontrollprozesse bestimmt werden. Es ist offensichtlich, dass eine derartige Erfassung der Ressourcen und der Kontrollprozesse messtechnisch nicht möglich ist.

Doch auch wenn ein solches Maß nicht derart berechnet werden kann, könnte es zumindest möglich sein, Situationen zu erkennen, in denen eine starke Ablenkung vorliegt (vgl. Abbildung 2.2, roter Bereich). Dafür muss die Ablenkungsschätzung sowohl die Belastungen aus der Situation als auch Indikatoren der Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers nutzen. Sind die Anforderungen der Situation hoch und ist eine zusätzliche Beanspruchung oder Nebentätigkeit des Fahrers zu erkennen, ist die Wahrscheinlichkeit für eine unangemessene Aufmerksamkeitszuteilung groß. In diesem Fall kann von einer Ablenkung des Fahrers ausgegangen werden.

Die Belastungen der Verkehrssituation werden im Anwendungskontext der Fahrerassistenz für Quer- und Längsführung durch die Situationsklassifikation der Systeme teilweise schon erfasst. Im Bereich der Längsführung, zum Beispiel bei einem Auffahrwarnsystem, liegt die Information über eine kritische Situation aufgrund der Relativgeschwindigkeit und dem Abstand zu einem Objekt in der eigenen Fahrspur schon vor. Für Systeme zur Unterstützung der Spurführung kann der Bedarf der

Fahraufgabe aus dem drohenden Spurverlassen abgeleitet werden. Letztendlich gilt es also, zusätzlich zu der bisher schon von der Umfeldsensorik zur Verfügung gestellten Situationsanalyse Indikatoren der Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers zu erfassen.

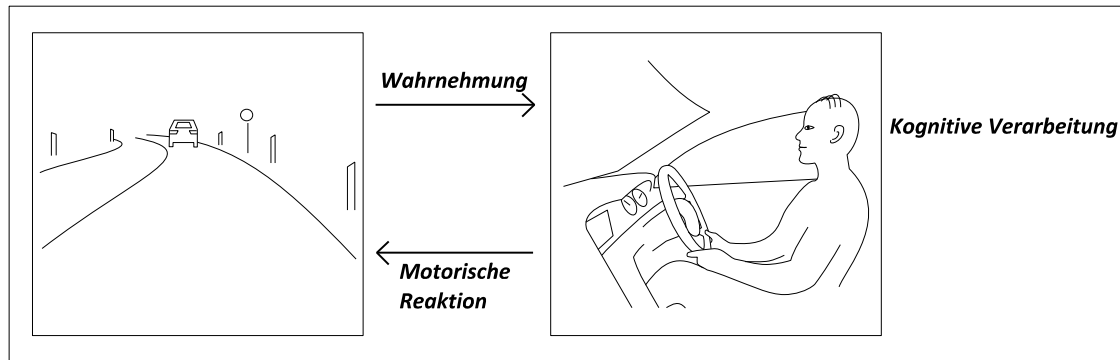


Abbildung 2.4: Schema der Fahrzeugführung

Die Abbildung 2.4 zeigt ein einfaches Schema der Fahrzeugführung, welches hilft, Indikatoren für eine zusätzliche Beanspruchung beziehungsweise eine Nebentätigkeit des Fahrers zu erkennen. Der Fahrer nimmt vorrangig visuell die Verkehrssituation wahr und verarbeitet diese kognitiv. Darauf aufbauend wählt er eine entsprechende Handlungsalternative aus. Diese setzt er motorisch über das Lenkrad und die Pedale um, was zu einer Veränderung der Verkehrssituation führt. Eine Aufmerksamkeitsteilung zwischen einer Fahraufgabe und einer Nebentätigkeit kann sich auf Seiten des Fahrers in der Wahrnehmung der Situation, in seiner kognitiven Verarbeitung und auch in seiner motorischen Reaktion widerspiegeln.

Die Erfassung der Wahrnehmung des Fahrers beziehungsweise seiner selektiven Aufmerksamkeitsprozesse ist nicht direkt möglich. Denkbar ist jedoch, die Blick- und Kopfbewegungen des Fahrers zu überwachen und darauf aufbauend zu schätzen, wohin der Fahrer schaut und was er wahrnehmen könnte. Sollte es möglich sein, die Wahrnehmung des Fahrers derart zu schätzen, könnten zumindest bei Nebentätigkeiten mit Blickabwendung Informationen bezüglich einer Ressourcenverlagerung des Fahrers gewonnen werden. Daher beschäftigt sich das Kapitel 3 mit einer Erkennung der

Aufmerksamkeitsausrichtung über die Erfassung der Blick- und Kopfbewegungen des Fahrers.

Die kognitive Verarbeitung des Fahrers ist einer Messung im Fahrzeug schwer zugänglich. Sicherlich existieren hier Möglichkeiten wie zum Beispiel EEG-Messungen (Reddy, Basir und Leat 2007), die aber aufgrund ihrer Invasivität in Serienfahrzeugen nicht denkbar sind. Daher wird dieser Aspekt hier nicht weiter behandelt.

Die motorischen Reaktionen könnten ebenfalls Hinweise in Bezug auf die Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers geben. Sollte der Fahrer seine Ressourcen von der Fahraufgabe hin zu Nebentätigkeiten verschieben, kann sich dies in einer Änderung des Fahrerverhaltens abzeichnen. Das Kapitel 5 beschäftigt sich mit der Vorhersage der Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers, basierend auf Lenkbewegungen und weiteren Fahrzeugdaten.

Als letzte Möglichkeit zur Erkennung der Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers wird in Kapitel 4 die Erfassbarkeit von Nebentätigkeiten selbst diskutiert. Wie die Studie von Dingus et al. (2006) zeigt, ist beispielsweise die Bedienung des Infotainment-Systems eines Fahrzeugs eine typische Nebentätigkeit, die eine Aufmerksamkeitszuweisung beinhaltet.

Im Rahmen dieses Kapitels wird der Fokus nur auf die Erkennung der Aufmerksamkeitsverlagerung und eine darauf basierende Schätzung von Ablenkung gelegt. Eine Anwendung derartiger Informationen für die adaptive Auslegung von Querführungsassistenzsystemen erfolgt im zweiten Teil dieser Arbeit.

### **3. Erfassung der Wahrnehmung des Fahrers**

---

Der visuelle Kanal ist die wichtigste Informationsquelle für das Führen eines Fahrzeugs. Die Wahrnehmung der Position sowie der Bewegung des eigenen Fahrzeugs innerhalb der Verkehrssituation ist dabei die Grundlage für die kognitive Verarbeitung und das darauf folgende Ausführen einer Handlungsalternative. Werden schon bei der Wahrnehmung relevante Informationen „übersehen“, ist die Wahrscheinlichkeit für eine in der Situation unangemessene kognitive Verarbeitung und ein falsches Verhalten des Fahrers sehr hoch. Daher ist es naheliegend, die Wahrnehmung des Fahrers zu erfassen, um auf seine Aufmerksamkeitsverteilung Rückschlüsse zu ziehen.

Dieses Kapitel soll einen Überblick über die Möglichkeiten der Erfassung der Wahrnehmung des Fahrers und die damit verbundene Schätzung der Aufmerksamkeitsausrichtung beziehungsweise Ablenkung des Fahrers geben. Das Kapitel 3.1 führt in die Grundlagen der Wahrnehmung beim Autofahren ein. Im Kapitel 3.2 werden Studien und Forschungsprojekte zur Erfassung der Aufmerksamkeitsverteilung über eine Messung von Blickbewegungen vorgestellt. Da aus technischer Sicht eine Erfassung der Kopforientierung im Vergleich zu den Blickbewegungen deutlich einfacher ist, wurde eine eigene Studie durchgeführt, die im Kapitel 3.3 vorgestellt wird. In dieser wurde gezielt untersucht, inwieweit über die Kopforientierung Rückschlüsse auf die Aufmerksamkeitsverteilung des Fahrers gemacht werden können.

Mit einer abschließenden Diskussion über Vor- und Nachteile und das Potential von Blick- und Kopforientierungserfassungssystemen für die Erkennung von Ablenkung (Kapitel 3.4) endet das Kapitel 3.

### **3.1. Wahrnehmung beim Autofahren**

Für das sichere Führen eines Fahrzeugs sind Blicke auf die Straße und die Wahrnehmung der Verkehrssituation unabdingbare Prozesse. Im Bereich Wahrnehmung und Querführung des Fahrzeugs werden oft die Arbeiten von Land und Lee (1994) und Land und Horwood (1995, 1998) angeführt. Diese zeigen, dass Fahrer einen Nah- und einen Fernpunkt auf der Straße betrachten, um das Fahrzeug in der Spur zu halten. Der Fernpunkt ist der Tangentialpunkt an der Innenseite der Kurve beziehungsweise der Straßenkrümmung und liegt im Bereich von 2 bis 4 Grad horizontalem Sehwinkel. Dieser Punkt dient vor allem der Antizipation von Lenkbewegungen. Der Nahpunkt direkt vor dem Fahrzeug (in einem Bereich von 7 bis 8 Grad horizontalem Sehwinkel) dient der konkreten Stabilisierung des Fahrzeugs in der Spur. Auch im Rahmen des ACT-R Modells findet diese Theorie heute noch Anwendung (zum Beispiel Salvucci und Grey 2004).

Im Bereich der Längsführung dient die Wahrnehmung vorrangig der Schätzung von Distanzen und Geschwindigkeiten. Groeger (2000) führt als Merkmale für eine Schätzung der Distanz beim Autofahren die Akkommodation und Konvergenz der Augen, die Querdiparität der Objekte zwischen linkem und rechtem Auge, die Höhe im visuellen Feld und die relative Größe an. Die Schätzung von Geschwindigkeiten und Bewegungen erfolgt dabei überwiegend über die Änderungen der retinalen Informationen (vgl. auch Mestre 2002).

Dabei muss die visuelle Wahrnehmung im Rahmen der Quer- und Längsführung nicht zwangsläufig foveal, sondern kann auch peripher erfolgen. In den Studien von Summala et al. (1996) und Summala et al. (1998) mussten Probanden Nebenaufgaben auf unterschiedlich positionierten Displays ausführen und dabei die Spur halten, sowie auf ein unerwartet bremsendes vorausfahrendes Fahrzeug reagieren. Trotz längerer Reaktionszeiten mit zunehmender Exzentrizität der Displays konnte die Querführungsaufgabe zum Teil gut über periphere Wahrnehmung gelöst werden.

Ablenkung wie beispielsweise die Nebenaufgaben in den Studien von Summala et al. (1996) und Summala et al. (1998) führen zwangsläufig dazu, dass die Verkehrssituation nicht mehr vollständig wahrgenommen werden kann. Der Fahrer teilt seine

Aufmerksamkeitsressourcen und richtet seinen visuellen Fokus nicht mehr nur auf die für die Fahraufgabe relevanten Objekte, sondern zusätzlich auf die Nebentätigkeit, also zum Beispiel ein Display im Fahrzeug (geteilte Aufmerksamkeit). Eine Vielzahl von Studien hat das Blickverhalten während des normalen Autofahrens und bei Nebentätigkeiten untersucht. Wierwille, Tijerina, Kiger, Rockwell, Lauber und Bittner (1996) fassen aufgrund einer Literaturrecherche und eigenen Studien zusammen, dass einzelne Blickabwendungen von der Straße in der Regel eine Dauer zwischen 0,6 und 1,6 Sekunden haben. Verlangt eine Nebenaufgabe beim Autofahren zusätzliche visuelle Kapazität, erhöht sich nicht die Blickdauer einzelner Blicke, sondern lediglich deren Anzahl. Die Untersuchungen von Rockwell (1988) zeigen Blickabwendungszeiten bei einer Radiobedienung von ungefähr 1,4 Sekunden mit einer Standardabweichung von etwa 0,45 Sekunden. Weitere Blickabwendungszeiten bei Nebentätigkeiten im Fahrzeug finden sich bei Wierwille und Tijerina (1997). Hier werden mittlere Blickdauern, zum Beispiel für das Ablesen des Tachos von etwa 0,62 Sekunden und für das Anlegen des Sicherheitsgurts von 1,5 Sekunden angegeben.

Dingus (2000) fokussiert in seiner Studie auf unterschiedlich komplexe Aufgaben. Bei einer hochkomplexen und zuvor unbekannten Aufgabe fanden sich Blickabwendungszeiten von etwa 1,8 Sekunden. Green (2007) berichtet über Einflüsse der Umgebung und interindividueller Faktoren wie der Fahrerfahrung auf die Blickabwendungsdauer. Mit steigenden Anforderungen der Umgebung (zum Beispiel dichterem Verkehr) und höherer Fahrerfahrung sinken die Blickabwendungsdauern.

Zusammenfassend schließt Green (2007) in seiner Literaturübersicht:

*„Data from driver eye fixation suggest that drivers feel comfortable looking inside a vehicle for about one second on average, though sometimes longer durations are acceptable. For many contemporary in-vehicle systems, glance durations are on the order of one to 1.5 seconds. For complex driver information systems, glance durations can be longer. When presented with complex tasks, drivers increase the number of glances to the vehicle interior (separated by glances to the road), but do little increase glance duration.“*

Darüber, inwieweit der Kopf beim Autofahren bewegt wird und Kopfbewegungen mit den Augenbewegungen einher gehen, ist wenig bekannt. Land und Horwood (1996) berichten für Kurvenfahrten über einen „engen Zusammenhang“ zwischen beiden, ohne dies jedoch genauer zu quantifizieren. Eine detailliertere Analyse findet sich bei Trefflich (2010). Die zugrunde liegenden Daten stammen von 28 Versuchspersonen, die über jeweils eine Stunde im realen Straßenverkehr auf Autobahnen, Landstraßen und im Stadtverkehr eine vorgegebene Strecke befahren hatten. Bei aufmerksamer Fahrweise bewegten die Fahrer den Kopf insgesamt nur in einem sehr kleinen Bereich. 90 % der Werte befanden sich in einem vertikalen sowie horizontalen Rotationsbereich von  $\pm 7$  Grad beziehungsweise  $-12$  bis  $+3$  Grad. Da für das Autofahren notwendige Informationen auch außerhalb dieses Bereichs liegen, war zu erwarten, dass der Zusammenhang zwischen Augen- und Kopforientierung nicht sehr groß ist. Eine Berechnung des Unterschieds zwischen Kopf- und Augenausrichtung zeigte bei Trefflich (2010) nur in einem zentralen Bereich geradeaus geringe Unterschiede. Bei Blickbewegungen darüber hinaus, also weiter von der Straße fort, wurde der Kopf nur geringfügig mitgeführt, so dass nicht eindeutig von der Kopforientierung auf die Augenorientierung geschlossen werden konnte.

#### **3.2. Erfassung der Aufmerksamkeitsausrichtung über eine Blickerfassung**

Ein Zusammenhang zwischen der Fähigkeit zur Fahrzeugführung und der Dauer der Blickabwendungen von der Straße ist naheliegend (vgl. Zhang und Smith 2004). Durch die verminderte Zeit, die der Blick auf der Straße ruht, vergrößert sich die Gefahr, die Verkehrssituation falsch wahrzunehmen beziehungsweise plötzlich in einer Verkehrssituation auftretende Anforderungen nicht rechtzeitig zu erkennen. Eine solche fehlerhafte Ressourcenzuweisung stellt, wie in Kapitel 2.2.2 definiert, eine Ablenkung dar, die sich auf die Längs- und Querführung auswirken kann.

Im Bereich der Längsführung sind vor allem eine falsche Wahrnehmung sowie das Übersehen einer Änderung der Geschwindigkeit und des Abstands anderer Verkehrsteilnehmer zu erwarten. Gerade Änderungen der Akkommodation und



Konvergenz sowie der Querdisparität zwischen beiden Augen sind bei kürzeren Blicken schwerer zu erkennen (Groeger 2000).

Im Bereich der Querführung kann es Land und Lee (1994) sowie Land und Horwood (1995, 1998) folgend zu einer Fehlinterpretation des Winkels zwischen Fahrzeuglängsachse und Nah- und Fernpunkt kommen, was in einer Antizipation einer falschen oder dem Ausbleiben einer Lenkbewegung und damit einem Abkommen von der Spur mündet. Aber auch die reine Stabilisierung des Fahrzeugs über die Wahrnehmung des Nahpunktes kann betroffen sein.

Belege für einen solchen Einfluss der Blickabwendung auf die Spurhaltung finden sich zum Beispiel bei Zwahlen und DeBald (1986). Die Fahrer in dieser Studie schlossen für definierte Zeiträume die Augen oder lasen während der Fahrt aus einem Buch vor. Je länger die Blickabwendungszeiten von der Straße waren, desto größer wurde die Standardabweichung der Spurposition. Zwahlen, Adams und DeBald (1988) sowie Tijerina (1996) zeigten einen entsprechenden Einfluss auf die maximale Spurabweichung beziehungsweise auf Spurverlassensereignisse.

In einer Studie von Zhang, Smith und Dufor (2008a) wurde der Zusammenhang zwischen der Spurhaltung und der Blickzuwendung zur Straße genauer quantifiziert. Als Bereich Straße wurde ein 24 x 24 Grad großes „Aufmerksamkeitsfenster“ um den Blick-Expansionspunkt definiert. Die Probanden dieses Versuchs fuhren in einem Simulator und wurden aufgefordert Worte vorzulesen, die an verschiedenen Orten im Fahrzeug angezeigt wurden. Die Analyse der Daten zeigte eine signifikante Korrelation zwischen dem Anteil der Blicke außerhalb des „Aufmerksamkeitsfensters“ und der Standardabweichung der Querposition von  $r = 0.84$ .

Der hohe Zusammenhang lässt die Idee aufkommen, die Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers über Blickbewegungen zu schätzen. Mit Hilfe einer genauen Erfassung des visuellen Fokus des Fahrers könnte es möglich sein, eine unzureichende Beachtung der Querführung als auch das Übersehen von unvorhergesehenen Ereignissen (zum Beispiel ein bremsendes Vorderfahrzeug) zu erkennen. Findet sich eine Blickabwendung in einer

kritischen Situation, in der eine Aufmerksamkeitsausrichtung auf die Straße notwendig ist, kann von Ablenkung ausgegangen werden. Eine Blickerfassung erlaubt aber keine direkte Erfassung der Angemessenheit einer Ressourcenzuteilung zur Fahraufgabe in allen Situationen. Wird nur eine Blickabwendung festgestellt, ohne dass dabei die aus der Fahraufgabe resultierenden Anforderungen bekannt sind, kann nicht automatisch davon ausgegangen werden, dass der Fahrer tatsächlich abgelenkt ist. Denn, wie in Kapitel 2.2.2 beschrieben, kann diese Blickabwendung auch die Folge einer optimalen Ressourcennutzung sein, bei der die Fahraufgabe nicht vernachlässigt wird.

In einer Reihe von Studien wurden Blickbewegungen für eine Erkennung der Aufmerksamkeitsausrichtung (Victor 2005) und für die Anpassung von Fahrerassistenzfunktionen genutzt (zum Beispiel Fletcher, Loy, Barnes und Zelinsky 2005; Donmez, Boyle und Lee 2007; Zhang, Smith und Witt 2008b; vgl. auch Engström und Victor 2008 und Smith, Witt, Bakowski, LeBlanc und Lee 2008). Die Autoren heben in diesen Studien zwar die Brauchbarkeit der Blickbewegungen für eine Erkennung visueller Aufmerksamkeit hervor, eine klare Validierung der Leistungsfähigkeit der Algorithmen unabhängig von den Assistenzfunktionen erfolgte jedoch nicht. Damit wird zwar in Einzelfällen eine Brauchbarkeit von Blickbewegungen für die Erkennung einer Aufmerksamkeitsausrichtung aufgezeigt, über deren Anwendbarkeit in anderen Kontexten, wie zum Beispiel einer adaptiven Querführungsassistenz, können jedoch keine Aussagen getroffen werden.

Drei Studien sind zu nennen, in denen der Fokus auf die Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers über Blickbewegungen unabhängig einer konkreten Funktion gelegt wurde. Im Rahmen des SAVE-IT Projekts („Safety Vehicle Using Adaptive Interface Technology“) wurde von Lee, Reyes, Liang und Lee (2007a) ein Algorithmus mit Hilfe von *Support Vector Machines* (Vapnik 1995) entwickelt. Als Grundlage diente ein Experiment mit 10 Probanden in einem Fahrsimulator. Die visuelle und kognitiv beanspruchende Aufgabe bestand darin, während der Fahrt auf einem Display dargestellte „Aktienkurse“ zu beobachten und auf Änderungen zu reagieren. Während dieser Fahrten wurden die

Blickbewegungen mit Hilfe eines Eye-Tracking-Systems und relevante Fahrzeugdaten, wie zum Beispiel Lenkbewegungen, erfasst. Im Rahmen der Algorithmusentwicklung wurden die Anzahl und Art der Eingangsgrößen, die Länge des Zeitraums, über den diese aggregiert wurden sowie die Überlappung dieser Zeitfenster variiert. Der SVM – Algorithmus zur Erkennung der Aufmerksamkeitsausrichtung, der nur auf der Basis von Augenbewegungsdaten arbeitete, erreichte eine Genauigkeit von 81,4 % in einem vorher nicht benutzten Testdatenset. Die höchste Trefferquote von 96 % wurde mit einem Algorithmus erzielt, der Zeitfenster mit einer Länge von 40 Sekunden und einer Überlappung von 95 % sowie Augenbewegungs- und Fahrzeugdaten nutzte.

Innerhalb des europäischen AIDE-Projekts („Adaptive Integrated Driver-vehicle Interface“) wurden ebenfalls *Support Vector Machines* als Klassifizierer für eine Schätzung der Aufmerksamkeitsausrichtung basierend auf Augenbewegungen genutzt und validiert (Kutilla 2006; Kutilla, Jokela, Markkula und Rue 2007). Die zugrundeliegenden Daten wurden im realen Verkehr gesammelt. Die 12 Testfahrer hatten die Aufgabe, Zahlen an verschiedenen Orten im Fahrzeug, wie zum Beispiel am Radio oder dem Tachometer, vorzulesen. Kennwerte der Blickbewegungen wurden für Zeitfenster mit einer Länge von 15 Sekunden berechnet. Je nach Straßentyp klassifizierten die Algorithmen etwa 80 % der Situationen richtig. Eine genauere Analyse der Blickorte zeigte eine Genauigkeit von 84 % für Straßenblicke, aber deutlich niedrigere Klassifikationsraten für die anderen Bereiche wie die Spiegel.

In einer Studie von Kircher, Ahlstrom und Kircher (2009) wurde ein Algorithmus getestet, der in einem 2-Sekunden-Puffer die Blickausrichtung des Fahrers überwachte und darauf basierend die Aufmerksamkeitsausrichtung klassifizieren sollte. Dabei wurden die Blicke dahingehend eingeteilt, inwieweit sie in Bereichen lagen, die für die Fahraufgabe relevant sind (Radius von 90° Sehwinkel um den Expansionspunkt) oder von diesen fort gingen. Im Puffer wurde permanent die Dauer der Blicke innerhalb des fahrrelevanten Bereichs erfasst. Wenn innerhalb der letzten zwei Sekunden keine Blicke in diesen Bereich erfolgt waren, wurde Aufmerksamkeitsabwendung klassifiziert. Basierend auf einem kleinen Field-Operational-Test mit sieben Teilnehmern, von denen

jeder im Mittel 4350 km gefahren war, schlossen die Autoren, dass durch dieses Vorgehen Aufmerksamkeitsabwendungen von der Straße gut erkannt werden könnten.

Bei den genannten Studien wurden häufig nicht die Blickbewegungen selbst, sondern der Anteil der Blicke in einem zentralen Bereich vor dem Fahrzeug berücksichtigt. Bei Zhang und Smith (2004) wurden mehr als 50 % „eyes-off-road“ in einem Zeitfenster von 4,3 Sekunden als kritisch angesehen. Bei Donmez et al. (2007) wurde das Verhältnis der Dauer eines aktuellen „off-road“-Blicks zu dem „off-road“-Anteil der letzten 3 Sekunden berechnet und daraus ein Aufmerksamkeitsgrad bestimmt. Auch Kutila (2006) und Kutila et al. (2007) klassifizierten hinsichtlich eines zentralen Felds „Straße“. Kircher et al. (2009) nutzten einen Bereich von 90° rund um den Expansionspunkt, schlossen hier aber nicht nur die Straße, sondern den gesamten für die Fahraufgabe relevanten Bereich ein. Die Nutzung solcher „Aufmerksamkeitsfenster“ hängt nicht nur damit zusammen, dass das Verhältnis zwischen „eyes-on-road“ und „eyes-off-road“ ein sensibles Maß für Blickabwendungen ist (Victor, Harbluk und Engström 2005). Grundsätzlich besteht das Problem, dass eine Blickzuwendung allein noch kein hinreichendes Maß für die Aufmerksamkeitsausrichtung ist. Wie in Kapitel 3.1 beschrieben, muss visuelle Wahrnehmung nicht foveal erfolgen, so dass die Blickausrichtung und die Aufmerksamkeitszuweisung teilweise unabhängig voneinander sind beziehungsweise sich auf unterschiedliche Objekte beziehen können. Bei der Nutzung eines „Aufmerksamkeitsfensters“ kann aber mit größerer Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass der Fahrer auch die Aufmerksamkeit auf dieses Fenster ausrichtet, da er nicht nur einen sondern mehrere Blicke dorthin wendet. Der zweite Grund für die Nutzung dieses Fensters hängt auch mit der technischen Realisierung und der Erfassung der Blickbewegungen zusammen (Zhang et al. 2008a). Denn heute verfügbare Systeme zur Blickbewegungsmessung mit einer ausreichend hohen Genauigkeit sind noch nicht für den Einsatz in Serienfahrzeugen geeignet. Neben den Kosten und der Größe der Hardware selbst ist für eine hohe Genauigkeit eine Kalibrierung des Systems auf den jeweiligen Fahrer notwendig. Da im Alltag die

Akzeptanz einer solchen Kalibrierung vor Fahrtantritt gering sein wird, sind solche Systeme zunächst nicht in der Serie zu erwarten. Eine automatisierte Kalibrierung für eine Blickbewegungserfassung ist zwar technisch möglich, aber zu Ungunsten einer deutlich geringeren Genauigkeit. Dementsprechende Hardware befindet sich zurzeit noch in der Entwicklung (vgl. Heise 2008), so dass auf der Algorithmusseite auf ein leichter zu definierendes Aufmerksamkeitsfenster mit weniger Anforderungen an die Genauigkeit der Blickerfassung zurückgegriffen wird. Eine weitere Schwierigkeit besteht darin, die für eine Blickerfassung notwendige hohe Rechenleistung in einem seriennahen Steuergerät zu realisieren. Zurzeit genutzte Steuergeräteprozessoren sind noch nicht leistungsstark genug, die nötigen Berechnungen zu leisten. Eine Alternative könnte die Erfassung von Kopforientierung und Kopfbewegungen sein, die deutlich geringere Ansprüche an die Rechenleistung bei gleicher Genauigkeit ermöglicht. Näheres dazu findet sich im Kapitel 3.3.

Das Gesamtbild zeigt, dass bislang kein „optimaler“ Algorithmus existiert, der umfassend die Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers über Blickerfassung erkennen kann. Die in den Studien genutzten Nebentätigkeiten sowie die aus den Blickrohdaten berechneten Kennwerte sind immer unterschiedlich gewählt. Gleiches gilt für die Wahl des Klassifizierers. Wünschenswert wäre eine Studie, in der verschiedene Nebentätigkeiten simuliert und ein umfangreicher Datensatz generiert wird, auf dem über die Variation der Kennwerte und unterschiedlicher Klassifizierer ein „optimaler“ Algorithmus entwickelt werden kann.

Die verschiedenen Studien scheinen jedoch vielversprechend die Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers über Augenbewegungen messen zu können. Dabei sind nicht nur die Validierungen der Algorithmen im SAVE-IT (Lee et al. 2007a) und dem AIDE Projekt (Kutilla 2006, Kutilla et al. 2007) sowie die Arbeiten von Kircher et al. (2009) hinsichtlich hoher Erkennungsraten aussichtsreich. Auch die Kombination mit verschiedenen Assistenzfunktionen (Fletcher et al. 2005; Donmez et al. 2007) lassen das Potential einer Blickbewegungserfassung positiv erscheinen.

### **3.3. Erfassung der Aufmerksamkeitsausrichtung über die Kopforientierung (Studie 1)**

Die Erfassung der Kopforientierung eines Autofahrers ist technisch einfacher realisierbar als eine Erfassung der Blickbewegung. Zum einen bedarf es dazu einer Rechenleistung, die auch heute schon von in der Fahrzeugtechnik einsetzbaren 32-Bit Mikrocontrollern geleistet werden kann. Zum anderen ist eine automatische Kalibrierung innerhalb weniger Sekunden möglich. Lexus hat als erster Hersteller eine solche Kamera in einem Serienfahrzeug integriert und nutzt diese zur Anpassung des Warnzeitpunktes einer Auffahrwarnung (Lexus 2009). Die technische Funktionsweise einer solchen Kopferfassung wird zum Beispiel bei Smith, Shah und da Vitoria Lobo (2003), Asteriadis, Karpouzis und Kllias (2010), Trefflich (2010) und Murphy-Chotorian, Doshi und Trivedi (2007) beschrieben.

Für die Kopforientierungserfassung stellt sich ähnlich wie für die Blickbewegungen die Frage, ob es über ein solches System möglich ist, eine ausreichend genaue Schätzung der Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers zu leisten und somit letztendlich auch auf Ablenkung schließen zu können. Wie im Kapitel 3.1 angesprochen, verweisen Land und Horwood (1996) auf einen „engen Zusammenhang“ zwischen Blick- und Kopfbewegungen, ohne dies zu quantifizieren. Im Rahmen der Studie von Zhang et al. (2008a) wurde nicht nur ein Zusammenhang zwischen dem „eyes-off-road“-Anteil in einem 4,3 Sekunden Zeitfenster und der Standardabweichung der Querabweichung von der Spur berechnet, sondern auch die Korrelation des „head-off-road“-Anteils mit diesem Querführungsgütemaß. Auch hier ergab sich eine signifikante Korrelation von  $r = .84$ , was als hoch bezeichnet werden kann und somit Potential hinsichtlich einer Ablenkungsschätzung über die Kopforientierung vermuten lässt. Die Ergebnisse stellen aber zunächst nur Zusammenhangsmaße dar. Im Gegensatz zu Blickbewegungsuntersuchungen existiert keine dem Autor bekannte Studie, in der das Potential der Kopforientierung zur Vorhersage der Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers untersucht wurde. Dies ist umso verwunderlicher, als diese Systeme zum Teil schon in Serienfahrzeugen Anwendung finden (Lexus 2009). Um zu untersuchen, ob

über die Kopfausrichtung ein Rückschluss auf die Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers gemacht werden kann, wurde daher eine eigene experimentelle Studie durchgeführt. Folgende Fragestellung sollte in der Studie beantwortet werden:

*„Ist es möglich, über die Kopforientierung auf eine Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers zu schließen?“*

Im Folgenden wird zunächst der Versuchsaufbau und –ablauf der Studie erläutert (Kapitel 3.3.1). Daran anschließend werden zwei Ansätze zur Vorhersage der Aufmerksamkeitsausrichtung näher beschrieben. In einer ersten Analyse wird die Kopforientierung ohne einen zeitlichen Bezug, also blitzlichtartig, betrachtet (Kapitel 3.3.2). In einer zweiten Analyse wird dann der zeitliche Verlauf der Kopforientierung über die letzten Sekunden berücksichtigt (Kapitel 3.3.3). Dieser Ansatz stellt zwar höhere technische Anforderungen an ein Steuergerät, jedoch ist durch die Aggregation von Daten eine höhere Güte der Klassifikation der Blickabwendungen zu erwarten.

### **3.3.1. Versuchsaufbau und -ablauf**

Die Fragestellung stellte an die Versuchsdurchführung verschiedene Anforderungen. Vorrangig musste ein Versuchsetting gewählt werden, bei dem der Zusammenhang zwischen der Kopforientierung und der Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers untersucht werden konnte. Da die Aufmerksamkeitsausrichtung selbst nicht direkt messbar ist, wurde hier die Blickrichtung des Fahrers in Ablenkungssituationen als Indikator dafür genutzt. Sollte sich ein hoher Zusammenhang zwischen Blick- und Kopforientierung finden, könnte ebenfalls von der Kopforientierung auf die Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers geschlossen werden.

Um eine realistische Aussage treffen zu können, war es notwendig, Fahrversuche im realen Straßenverkehr durchzuführen. Dadurch war sichergestellt, dass repräsentatives Blick- und Kopfbewegungsverhalten erfasst werden konnte. Dabei war ein Teil der Strecke von den Probanden aufmerksam zurückzulegen. Als Referenzmessungen dazu

dienten gezielt herbeigeführte Nebentätigkeiten, die Blick- und Aufmerksamkeitsabwendungen von der Straße verlangten. Dadurch war ein ausreichend großer Datensatz zu erwarten, in dem sowohl „off-road“ als auch „on-road“-Blicke mit entsprechenden Kopfbewegungen zu finden sein sollten. Zur Absicherung des Ablaufs wurde eine begleitete Studie durchgeführt. Das heißt, dass ein Versuchsleiter im Fond des Wagens mitfuhr, Anweisungen zum Verlauf der Strecke gab und unter Berücksichtigung der Verkehrssituation die verschiedenen Nebenaufgaben instruierte. Gleichzeitig bediente dieser die entsprechende Messtechnik für die Erfassung von Blick- und Kopfbewegungen. Nach Abschluss der Fahrten wurden die Daten aufbereitet und zwei Analysen, einmal ohne und einmal mit Berücksichtigung des zeitlichen Verlaufs, der Kopfbewegungen durchgeführt. Im Folgenden wird detaillierter auf diese Aspekte eingegangen.

#### **3.3.1.1. Versuchsträger**

Als Versuchsträger wurde ein Audi A6 Avant genutzt, der mit entsprechender Messtechnik ausgestattet wurde.



Abbildung 3.1: Versuchsträger im Versuch „Kopforientierung“



Alle potentiell relevanten CAN-Signale auf dem Extended- und dem Antriebs-CAN (wie zum Beispiel die Eigengeschwindigkeit und die Querabweichung des Fahrzeugs) wurden mit Hilfe der Software CANape (Vector Informatik GmbH) erfasst. Eine Szenen- und eine Innenraumkamera wurden ebenfalls in CANape integriert und deren Videos synchron aufgezeichnet.

Das genutzte Eyetracking-System Facelab ermöglicht ein berührungsloses Erfassen der Blick- und Kopfbewegungen des Fahrers (Seeing Machines 2009a). Dieses System verwendet zwei Kameras (vgl. Abbildung 3.1), die im Infrarotbereich arbeiten und mit einer Frequenz von 60 Hz aufzeichnen. Vor Beginn jeder Messung erfolgt die Kalibrierung des Systems über Referenzpunkte, wie die Augen- und Mundwinkel und die Pupillen. Da diese Punkte durch die zwei versetzt montierten Kameras erfasst werden, können über eine Triangulation Translationen und Rotationen des Kopfes sowie der Augen berechnet und ausgegeben werden. Die Genauigkeit der Erfassung der Blick- und Kopfrichtung in einem dynamischen Umfeld wie einem Fahrzeug wird mit 3 Grad angegeben. Eine Synchronisation der Blickbewegungs- und CAN-Bus-Daten erfolgte über die Ethernet-Schnittstellen der beiden PCs.

Im Fondbereich (Platz des Versuchsleiters) konnten der CAN- und der Facelab-PC bedient und überwacht werden. Der Versuchsleiter konnte außerdem am CAN-PC verschiedene Marker im Datenstrom setzen, die eine Unterteilung der Fahrt hinsichtlich Straßentypen (Autobahn, Stadtverkehr, Landstraße, Dörfer), Fahrmanöver (Abbiegen, Spurwechsel, Überholen) und den ablenkenden Tätigkeiten (MMI-Bedienung, Schilder lesen) ermöglichten.

#### **3.3.1.2.    *Versuchsablauf und Versuchsstrecke***

Vor Beginn der eigentlichen Messfahrt erfolgte zunächst eine kurze Befragung (demographische Daten) und eine anschließende Einweisung in das Versuchsfahrzeug. Bei der Auswahl einer geeigneten Versuchsstrecke galt es, ein Szenario zu erzeugen, das eine repräsentative Fahrt widerspiegelt. Dazu wurde eine Strecke durch Dörfer, über

Land, auf der Autobahn und im mehrspurigen Stadtverkehr ausgewählt. In Tabelle 1 sind die Anteile der verschiedenen Straßenarten dargestellt.

Tabelle 1: Anteile der Straßenarten auf der Versuchsstrecke „Kopforientierung“

<b>Straßenart</b>	<b>Kilometer</b>	<b>Anteil (%)</b>
Stadtverkehr	5,5	7,8
Dörfer	16,0	22,5
Landstraße	31,0	43,7
Autobahn	18,5	26,0
<b>Gesamt</b>	<b>71,0</b>	

Die Fahrer mussten zwei ablenkende Tätigkeiten auf ausgewählten Streckenabschnitten durchführen (siehe Kapitel 3.3.1.3). Die übrige Zeit waren sie dazu angehalten aufmerksam zu fahren. Abhängig vom Verkehr betrug die Fahrzeit mit kurzen Pausen etwas mehr als eine Stunde.

#### **3.3.1.3. Nebentätigkeiten**

Zur Teilung der Aufmerksamkeit des Fahrers wurden zwei realistische Aufgaben ausgewählt, die auch während alltäglicher Fahrten durchgeführt werden (vgl. Abbildung 2.3 beziehungsweise Dingus et al. 2006). Zum einen galt es, eine elfstellige Telefonnummer, die der Versuchsleiter diktierte, über das Infotainment-System (kurz: MMI) einzugeben (Aufgabe: „MMI-Bedienung“). Um prinzipielle Probleme bei der Bedienung des Infotainment-Systems auszuschließen, hatten die Probanden Gelegenheit, diese Aufgabe vor Fahrtantritt zu üben.

Zum anderen wurde eine externe Ablenkung hervorgerufen, also eine Situation, in der sich die Aufmerksamkeit des Fahrers auf ein Objekt außerhalb des Fahrzeugs richtete. Um eine möglichst lange Nebentätigkeit zu erzeugen, wurde ein Szenario entworfen,

das das Suchen einer bestimmten Straße in einer Ortschaft simuliert. Dazu wurde der Versuchsteilnehmer aufgefordert, bei Einfahrt in zwei Ortschaften möglichst viele Namen der abgehenden Straßen rechts und links laut vorzulesen. Diese Nebentätigkeit wird im Folgenden als „Schilder lesen“ bezeichnet. Die Erfüllung beider Aufgaben verlangte Blickabwendungen von der Straße, so dass ausreichend Daten der Kopforientierung bei „off-road“-Blicken erfasst werden konnten.

#### **3.3.1.4. Stichprobe**

Zwölf Frauen und sechzehn Männer im Alter zwischen 24 und 59 Jahren ( $\bar{x}$  35,8 Jahre) wurden als Versuchspersonen angeworben. Die Fahrleistung der Probanden in den letzten zwölf Monaten lag im Durchschnitt bei etwa 20.000 km.

#### **3.3.2. Analyse der Kopforientierung ohne Berücksichtigung eines zeitlichen Verlaufs**

In einer ersten Analyse wurde untersucht, ob über die Kopforientierung eine dichotome Aussage dahingehend gemacht werden kann, ob der Blick des Fahrers auf der Straße ruht oder nicht. Dabei wurde implizit davon ausgegangen, dass die Blickausrichtung in diesem Falle auch der Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers entspricht. In Kombination mit der Erfassung einer hohen Anforderung durch die Verkehrssituation könnte eine solche Abwendung als Ablenkung klassifiziert werden. Für die erste Analyse wurde die Kopforientierung einzeln für jeden Messzeitpunkt beziehungsweise jeden vom System aufgezeichneten Frame betrachtet, also ohne einen zeitlichen Verlauf der Kopforientierung zu berücksichtigen. Dieses Vorgehen ist insofern vorteilhaft, da für jedes Frame eine Aussage über die Aufmerksamkeitsausrichtung gemacht werden könnte, ohne die Daten weiter aggregieren zu müssen und somit mehr Rechenleistung zu benötigen.

**3.3.2.1. Vorgehen bei der Analyse**

Bei dieser Analyse wurden alle aufgezeichneten Daten berücksichtigt, bei denen die vom Facelab-System ausgegebene Konfidenz für die Blickrichtungserkennung über 60 % lag. Ein Überblick über das weitere Vorgehen findet sich in Abbildung 3.2.

Die Blick- und Kopfrotationsdaten lagen für jeden Frame als doppelte Wertepaare vor. Für Augen und Kopf gab es jeweils einen Pitch-Winkel (Rotation um die Querachse) und einen Heading-Winkel (Rotation um die Hochachse) pro Frame. Zunächst musste der Bereich „Straße“ im Blickfeld des Fahrers über die Blickwertepaare definiert werden. In Anlehnung an die Studie von Zhang et al. (2008a) wurde ebenfalls ein Fenster von 24 x 24 Grad Sehwinkel um den Durchstoßpunkt bei gerade ausgerichtetem Kopf gewählt. Dies bedeutete, dass Pitch- und Heading-Blickwinkel zwischen -12 und +12 Grad als „Blick und Aufmerksamkeitsausrichtung auf die Straße“ interpretiert wurden ( $(|pitch\_eye| \text{ and } |heading\_eye|) < 12$ ). Frames, bei denen Pitch- und/oder Heading-Blickwinkel größer oder kleiner waren, wurden als Blickabwendung angesehen und so klassifiziert.

In einem nächsten Schritt wurden die Frames nach der entsprechenden Kopforientierung in ein diskretes Raster mit einer Zellengröße von 1 x 1 Grad eingeordnet. Der maximale und der minimale in den Daten gefundene Heading-Kopfwinkel waren 57 beziehungsweise -54 Grad (Spannweite: 111 Grad). Für den Pitch-Kopfwinkel fand sich ein Minimum von -32 und ein Maximum von +32 Grad Kopfrotation (Spannweite: 64 Grad). Darauf basierend wurde ein 111 Zellen breites und 64 Zellen hohes Raster aufgespannt, das die Kombination aus den Heading- und Pitch-Kopfwinkeln abbildete und in dem jede Zelle einem Grad Pitch- und einem Grad Heading-Kopfwinkel entspricht. Jeder Frame konnte so einer entsprechenden Zelle zugewiesen werden.

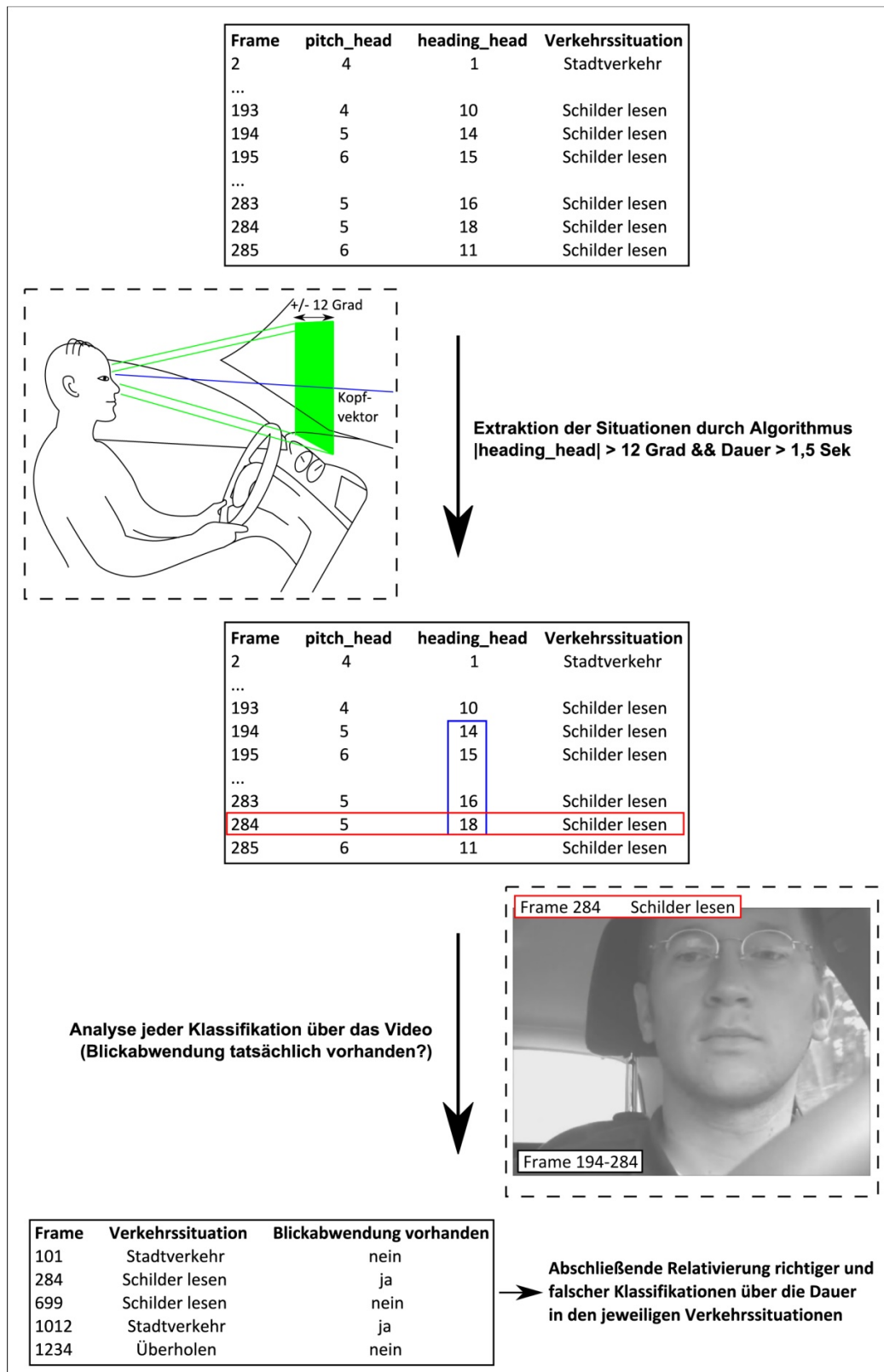


Abbildung 3.2: Veranschaulichung Kopforientierungs-Analyse ohne zeitlichen Bezug

Alle einer Zelle zugewiesenen Frames wurden dahingehend betrachtet, ob die Probanden in diesem Frame auf die Straße geschaut hatten oder nicht. Der Anteil an Frames, bei denen kein Straßenblick festgestellt wurde, wurde mit der Gesamtzahl aller Frames innerhalb der Zelle ins Verhältnis gesetzt. Das Ergebnis ist die relative Häufigkeit  $P_i$  (*Blickabwendung* | *Kopf* ( $x_i/y_i$ )), die beschreibt, wie oft bei vorliegender Kopfrichtung *Kopf* ( $x_i/y_i$ ) die Augen nicht auf die Straße gerichtet waren (*Blickabwendung*). Diese relative Häufigkeit kann auch als Wahrscheinlichkeit für einen Straßenblick bei vorliegender Kopfausrichtung interpretiert werden.

### 3.3.2.2. Ergebnisse

Abbildung 3.3 zeigt die Wahrscheinlichkeiten  $P_i$  (*Blickabwendung* | *Kopf* ( $x_i/y_i$ )), die Aussage darüber erlauben, wie wahrscheinlich bei einer vorliegenden Kopforientierung der Blick des Fahrers nicht im 24 x 24 Grad Fenster beziehungsweise auf der Straße ruhte.

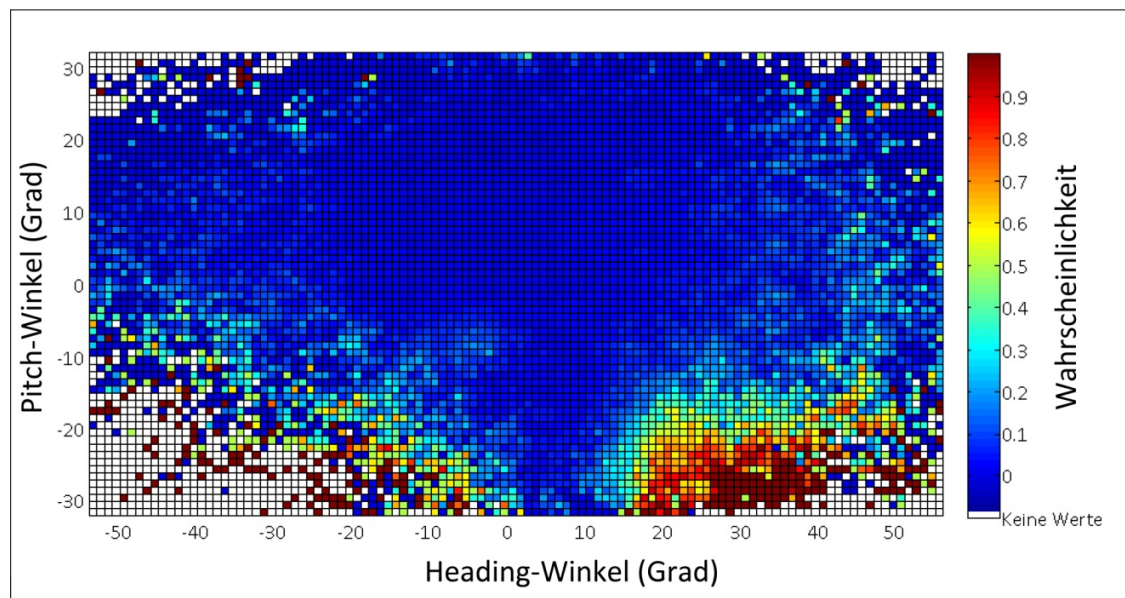


Abbildung 3.3: Wahrscheinlichkeit einer Blickabwendung nach Kopforientierung

Auf der Abszisse sind die Heading-Winkel des Kopfes abgetragen. Auf der Ordinate die Pitch-Kopfwinkel. Für jede Kopforientierung kann über die Farbkodierung bestimmt werden, wie groß die Wahrscheinlichkeit ist, dass der Blick des Fahrers nicht im 24 x 24 Grad Fenster liegt, der Fahrer also nicht auf die Straße schaut. Weiße Felder zeigen, dass hier keine auswertbaren Frames vorlagen und somit keine Aussagen gemacht werden können.

Es wird deutlich, dass die Schätzung, ob ein Fahrer seinen Blick von der Straße abwendet, allein über die Kopforientierung ohne einen zeitlichen Bezug nur in Randbereichen möglich ist. Denn die Abbildung 3.3 zeigt überwiegend blaue Felder, was einer sehr geringen Wahrscheinlichkeit für eine Blickabwendung von der Straße entspricht. Nur Felder im Bereich von 18 bis 40 Grad Heading-Winkel und -20 bis -30 Grad Pitch-Winkel zeigen hohe Wahrscheinlichkeiten (rote Felder). Wenn der Kopf eine solche Orientierung hatte, schaute der Fahrer meist nicht durch das 24 x 24 Grad Fenster. Kopfrotationen in diesem Bereich gingen vermutlich mit Blicken zum Bedienelement oder dem Display des Infotainment-Systems einher.

Weiter ist davon auszugehen, dass eine ähnliche Wahrscheinlichkeit im Bereich von -18 bis -40 Grad Heading-Kopfwinkel beziehungsweise -20 bis -30 Grad Pitch-Kopfwinkel vorliegt, denn auch hier sind in einigen Feldern hohe Wahrscheinlichkeiten für eine Blickabwendung zu erkennen. Da in diesem Bereich im Fahrzeug keinerlei Bedienelemente angeordnet sind, wurde der Kopf aber nur sehr selten derart ausgerichtet, so dass viele Felder unbesetzt bleiben.

Offen bleibt auch, wie weit der Fahrer den Kopf nach rechts oder links drehen muss, um sicherstellen zu können, dass dieser nicht mehr nach vorne schaut. In dieser Studie reichte der Trackingbereich des Facelab-Systems nicht aus, um den Blick auch bei Kopfdrehungen von mehr als 50 Grad noch sicher erfassen zu können. Es ist jedoch davon auszugehen, dass ab einer bestimmten Kopfrotation nach links oder rechts keine Straßenblicke mehr vorliegen. Diese Grenze konnte hier nicht bestimmt werden.

Während der bisherigen Diskussion wurde davon ausgegangen, dass ein Blick durch das definierte Aufmerksamkeitsfenster mit der Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers

übereinstimmt. Dies ist eine starke Vereinfachung, da wie beschrieben die Aufmerksamkeitsausrichtung nicht zwangsläufig mit der Blickausrichtung übereinstimmen muss. Im Hinblick auf die vorliegende Analyse ist es umso ernüchternder, dass über die Kopforientierung allein nur geringe Rückschlüsse auf die Blickrichtung des Fahrers gemacht werden kann. Der Zusammenhang zwischen der Kopforientierung und der Aufmerksamkeitsausrichtung sollte somit noch geringer sein. Zusammenfassend lässt sich damit schließen, dass eine einfache Information über die Kopforientierung ohne zeitlichen Bezug nur bei starker Drehung des Kopfes eine zuverlässige Aussage darüber liefert, dass der Fahrer nicht vor sich auf die Straße schaut.

### **3.3.3. Analyse der Kopforientierung mit Berücksichtigung eines zeitlichen Verlaufs**

Auch wenn die Ergebnisse in Kapitel 3.3.2.2 nahelegen, dass die Kopforientierung allein nur wenige Aussagen hinsichtlich des visuellen Fokus des Fahrers erlaubt, muss berücksichtigt werden, dass dort die Kopforientierung nur „blitzlichtartig“ betrachtet wurde. Unberücksichtigt bleibt die Möglichkeit, dass Tätigkeiten wie die MMI-Bedienung oder das Ablesen von Verkehrsschildern mit einer länger andauernden Kopforientierung in eine bestimmte Richtung einhergehen, die sich deutlich von Kopforientierungen während aufmerksamer Fahrweise unterscheidet. Um zu untersuchen, ob über ein solches Vorgehen eine Aussage über die Blickausrichtung des Fahrers möglich ist, wurde eine zweite Analyse durchgeführt.

#### **3.3.3.1. Datenfilterung**

Zunächst fand eine Kategorisierung und Filterung der Daten statt, die in Abbildung 3.4 dargestellt ist. In einem ersten Schritt wurde in aufmerksames Fahren und Fahren mit Nebentätigkeit klassifiziert. Diese Klassifikation konnte durch die vom Versuchsleiter im Datenstrom gesetzten Marker realisiert werden (vgl. Kapitel 3.3.1.1). Neben der Extraktion der Nebentätigkeiten wurden auch die drei Fahrmanöver



„Abbiegen“, „Spurwechsel“ und „Überholen“ auf diese Weise zeitlich eingegrenzt und klassifiziert. Alle übrigen Abschnitte wurden den vier Straßentypen (Autobahn, Stadtverkehr, Landstraße, Dörfer) zugeordnet. Dabei wurde aufgrund der Anweisungen („Bitte fahren Sie aufmerksam!“) angenommen, dass die Fahrer überwiegend aufmerksam gefahren waren.

Um einzelne Situationen auszuschließen, in denen dies möglicherweise nicht galt, wurde eine weitere Gruppe „Sonstiges“ klassifiziert. Aufgrund der Menge an Messdaten konnte die Einteilung in diese Gruppe nicht manuell geschehen, sondern wurde nach bestimmten Kriterien automatisiert realisiert.

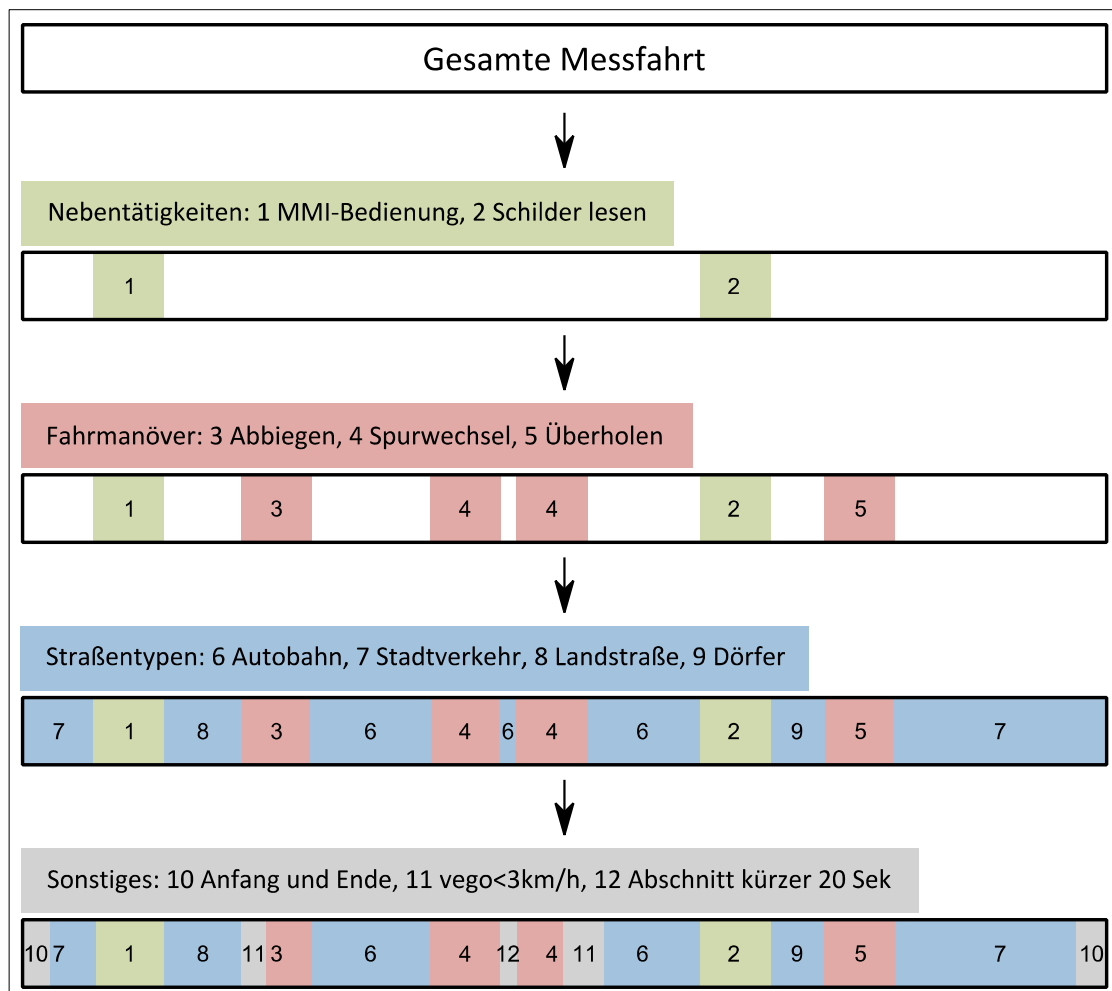


Abbildung 3.4: Filterung der Messdaten im Versuch „Kopforientierung“

Dabei wurden zunächst die ersten zwanzig Sekunden und die letzten zehn Sekunden jeder Messung als „Sonstiges“ klassifiziert. Da das Versuchsfahrzeug zu diesen Zeitpunkten stets in einer Parkbucht hielt oder gerade in diese fuhr, waren diese Bereiche nicht von Interesse.

Um Situationen auszuschließen, in denen der Fahrer zum Beispiel an einer Ampel stand und umherschaute, wurde ein Geschwindigkeitskriterium eingeführt. Alle Abschnitte, in denen das Fahrzeug länger als fünf Sekunden langsamer als 3 km/h fuhr, wurden so ebenfalls als „Sonstiges“ klassifiziert.

In einem letzten Schritt wurden aus den verbleibenden Bereichen alle Abschnitte, die kürzer als zwanzig Sekunden waren, in diese Klasse eingeordnet. Für diese Situationen war unklar, ob der Fahrer wirklich aufmerksam auf die Fahrbahn geschaut hatte. Wenn beispielsweise auf der Autobahn zwischen zwei Spurwechseln ein Abschnitt von fünfzehn Sekunden Länge verblieben war, waren auch in diesem Spiegel- und Schulterblicke zu erwarten oder zumindest möglich. Dadurch wurde zwar ein weiterer Teil der Messdaten verworfen, die Wahrscheinlichkeit für falsche Zuordnungen hinsichtlich „aufmerksames Fahren“ oder „unaufmerksames Fahren“ wurde jedoch reduziert.

Abschließend lagen damit eindeutig klassifizierte Szenen von, während derer die Fahrer Fahrmanöver oder Nebentätigkeiten durchführten oder während derer sie aufmerksam auf einem von vier Straßentypen fuhren.

#### **3.3.3.2. Vorgehen bei der Analyse**

Das Ziel der Analyse war, durch die Berücksichtigung des zeitlichen Verlaufs der Kopforientierung eine Blickabwendung beziehungsweise Aufmerksamkeitsabwendung des Fahrers zu erkennen. Bei dieser Analyse ergaben sich aber im Vergleich zum Vorgehen in Kapitel 3.3.2.1 verschiedene Schwierigkeiten.

Da der Kopf bei der Fahrt stets leicht bewegt wird, konnte nicht die Kopforientierungsdauer auf einen Punkt des Rasters bestimmt werden. Ein ähnliches Problem galt für die Blickbewegungen. Auch hier bestand die Schwierigkeit, dass ein

Vektor von Blickbewegungskoordinaten oder –winkeln als Straßenblick oder Blickabwendung hätte klassifiziert werden müssen. Bei Nutzung des genannten Aufmerksamkeitsfensters wäre dies gerade in Grenzbereichen um  $\pm 12$  Grad Pitch- und Heading-Winkel zwar möglich, aber mit hohem Aufwand verbunden. Die Nutzung von Blickbewegungsdaten wurde bei einer Berücksichtigung des zeitlichen Bezugs außerdem zusätzlich erschwert, wenn die Qualität der Blickerfassung während eines Blicks deutlich abnahm oder sogar das Tracking unterbrochen wurde.

Daher wurde für die Analyse der Kopforientierung mit einem zeitlichen Bezug ein ökonomischeres Vorgehen gewählt, das in Abbildung 3.5 vereinfacht dargestellt ist. Zunächst wurde ein Algorithmus aufgestellt, der über die Kopfrotation und die Dauer dieser Rotation eine visuelle Abwendung des Fahrers von der Straße klassifizieren sollte. Dieser Algorithmus gab Zeitpunkte aus, zu denen er eine Abwendung erkannt hatte. Über eine „manuelle“ Auswertung der Fahrervideos zu diesen Zeitpunkten wurde dann entschieden, ob der Fahrer auf die Straße oder fort geschaut hatte und ob die Klassifikation des Algorithmus somit falsch oder richtig war. Über dieses Vorgehen ließ sich abschließend ein Urteil über die Vorhersagegenauigkeit einer Blickabwendung über die Kopforientierung des Fahrers treffen.

Im Detail wurde wie folgt verfahren: Ähnlich wie für das „Aufmerksamkeitsfenster“ in Kapitel 3.3.2 wurde ein Bereich definiert, für den eine Kopforientierung beziehungsweise damit verbunden die Blickrichtung als unkritisch angesehen werden kann. Dabei wurde erneut in Anlehnung an Zhang et al. (2008a) ein Bereich mit 24 Grad horizontaler Erstreckung gewählt. Aus zwei Gründen wurde dabei keine vertikale Begrenzung festgelegt: Zum einen ging aus Trefflich (2010) hervor, dass die genutzten Ablenkungsaufgaben nicht zu typischen Kopfrotationen in der Vertikalen führten, so dass von dieser Beschränkung kein Nutzen zu erwarten war. Weiter zeigten erste Tests mit dem Algorithmus, dass es häufig zu „Abwendungs-Klassifikationen“ in Situationen kam, in denen der Fahrer auf die Straße schaute, aber den Kopf leicht gesenkt hielt.

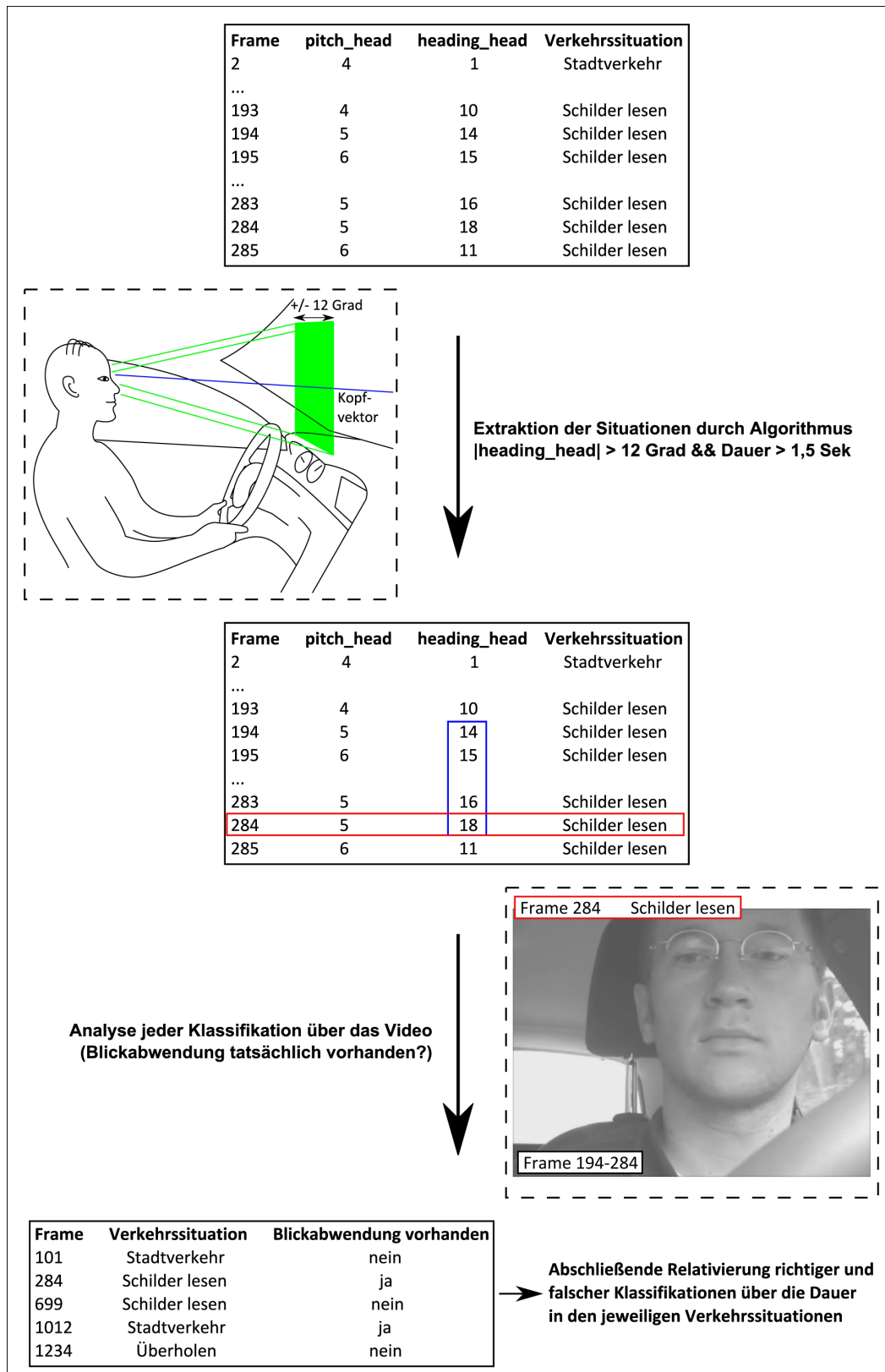


Abbildung 3.5: Veranschaulichung Kopforientierungs-Analyse mit zeitlichem Bezug

Somit wurde ein „Aufmerksamkeitsband“ anstatt eines „Aufmerksamkeitsfensters“ aufgestellt. Es ist offensichtlich, dass kurze Blick- und Kopfabwendungen beim Autofahren ständig vorkommen. Daher wurde neben dem Kriterium der Kopfrotation zusätzlich ein Zeitkriterium festgelegt, das dies berücksichtigt. In Anlehnung an die oben angesprochenen Studien zu Blickabwendungen und Blickabwendungszeiten beim Autofahren (Wierwille et al. 1996; Rockwell 1988; Wierwille und Tijerina 1997; Dingus 2000; Green 2007) wurde hier eine Dauer von 1,5 Sekunden als Kriterium ausgewählt. Der Algorithmus klassifizierte also unter folgenden Bedingungen eine Abwendung:

$$|heading\_head| > 12 \text{ Grad} \ \&\& \ \text{Dauer} > 1,5 \text{ Sek}$$

Der Algorithmus wurde in Matlab (Mathworks) programmiert und ausgeführt. Zur Analyse der Wirksamkeit wurde dieser auf den gesamten Datensatz, also die kompletten Messdaten der Fahrten angewandt. Das Ergebnis waren 1149 Ereignisse beziehungsweise Zeitpunkte, zu denen der Algorithmus eine „Abwendung“ des Fahrers klassifizierte.

Um eine differenzierte Betrachtung zu ermöglichen, wurden die Klassifikationen zunächst mit den verschiedenen Straßentypen beziehungsweise den Fahrmanövern und Nebentätigkeiten in Zusammenhang gebracht. Jede vom Algorithmus ausgegebene Klassifikation beziehungsweise jeder Zeitpunkt konnte über die vom Versuchsleiter gesetzten Marker entweder

- einem Abschnitt aufmerksamen Fahrens auf einem der vier Straßentypen,
- einem Fahrmanöver (Überholen, Spurwechsel oder Abbiegen),
- einer Nebentätigkeit (MMI-Bedienung oder Schilder ablesen)
- oder der Restgruppe „Sonstiges“ als herausgefilterter Zeitabschnitt zugeordnet werden.

Insgesamt fielen etwa 47 % der Klassifikationen in herausgefilterte Zeitbereiche (siehe Kapitel 3.3.3.1). Auch wenn dieser Anteil zunächst groß erscheint, müssen dabei die starken Restriktionen hinsichtlich der Filterung berücksichtigt werden. Sowohl bei Messungsstart und -ende als auch in Abschnitten, in denen das Fahrzeug

zwischenzeitlich stand, musste der Fahrer nicht auf die Straße vor sich schauen. Gerade hier waren also große Kopfbewegungen und somit viele Klassifikationen zu erwarten, die aber als uninteressant einzustufen sind und damit unberücksichtigt bleiben können. Insgesamt 609 Klassifikationen blieben übrig, die einer der anderen Kategorien zugeordnet werden konnten.

In einem weiteren Schritt fand dann die Einteilung in richtige und falsche Klassifikationen statt. Konkret wurde in einer Analyse der Videos der Szenen- und Innenraumkamera jede Klassifikation dahingehend überprüft, ob der Fahrer das Verkehrsgeschehen vor sich beobachtete (falsche Klassifikation) oder ob tatsächlich eine Blickabwendung zu verzeichnen war (richtige Klassifikation). Dabei wurde konkret jeder vom Algorithmus ausgegebene Zeitpunkt im Video gesucht und analysiert, ob der Fahrer in den 1,5 Sekunden zuvor von der Straße fort geschaut hatte. Für die Fahrmanöver wurde eine Klassifikation ebenfalls als richtig eingestuft, wenn der Blick nicht auf der Straße lag, unabhängig davon, ob dies im Rahmen der Durchführung des Manövers notwendig war (zum Beispiel bei einem Schulterblick vor dem Überholen). Dieses Vorgehen hatte im Vergleich zu einer automatischen Validierung mittels der Augenbewegungen einen wesentlichen Vorteil. Durch die Analyse der Videos konnte nicht nur erkannt werden, ob der Blick des Fahrers auf die Straße ging. In den meisten Fällen konnte damit auch sichergestellt werden, dass der Fahrer einen gezielten Blick von der Straße fort machte und somit auch seine Aufmerksamkeit auf etwas anderes fokussierte. Der Zusammenhang zwischen Kopforientierung und Aufmerksamkeitsausrichtung war somit deutlich valider.

Da die berücksichtigte Fahrdauer in den einzelnen Verkehrssituationen unterschiedlich war (zum Beispiel 440,9 Minuten Landstraße versus 15,9 Minuten MMI-Bedienung), bot es sich für die Vergleichbarkeit der Daten an, die Klassifikationsanzahl pro Minute berücksichtigten Zeitabschnitts zu berechnen.

**3.3.3.3. Ergebnisse**

Die Tabelle 2 zeigt richtige, falsche und Klassifikationen insgesamt pro Minute Fahrzeit sowie die Dauern der verschiedenen Verkehrssituationen, die als Datengrundlage genommen wurden. Die Abbildung 3.6 zeigt die richtigen und falschen Abwendungs-Klassifikationen für die verschiedenen Fahrsituationen.

Tabelle 2: Abwendungs-Klassifikationen des Algorithmus pro Minute Fahrzeit und Dauer in verschiedenen Verkehrssituationen

	Klassifikationen pro Minute	Richtige Klassifikationen pro Minute	Falsche Klassifikationen pro Minute	Fahrdauer (Minuten)
Dörfer	0,23	0,09	0,14	184,3
Landstraße	0,22	0,07	0,15	440,9
Stadtverkehr	0,31	0,12	0,19	58,4
Autobahn	0,37	0,18	0,19	77,4
Abbiegen	0,72	0,66	0,06	82,1
Spurwechsel	0,59	0,52	0,07	87,8
Überholen	0,85	0,52	0,33	45,9
MMI-Bedienung	0,25	0,25	0,00	15,9
Schilder lesen	0,59	0,57	0,02	290,6

Auf den ersten Blick wird deutlich, dass der genutzte Algorithmus prinzipiell eine sinnvolle Klassifikation zu leisten vermag. Die Gesamtzahl an Abwendungs-Klassifikationen pro Minute auf allen Straßentypen ist deutlich niedriger als die Zahl während der ablenkenden Tätigkeit „Schilder lesen“. Dabei sei nochmal darauf hingewiesen, dass die Fahrer in den hier mit Straßentypen klassifizierten Bereichen die Anweisung hatten, aufmerksam zu fahren. Da aufgrund des unwillkürlichen Blickverhaltens der Fahrer trotzdem von Blickabwendungen auszugehen ist, sind die gefundenen Warnungen während dieser Fahrten verständlich.

Bei den Fahrmanövern findet sich ebenfalls eine erhöhte Anzahl an Klassifikationen. Diese sind auf Schulter- und Seitenblicke zurückzuführen und so als klare Abwendung einzustufen.

Deutlich wird jedoch, dass nur wenige Abwendungs-Klassifikationen während der MMI-Bedienung vorhanden sind. Insgesamt finden sich hier 0,25 Klassifikationen pro Minute. Bei insgesamt etwa 16 Minuten MMI-Bedienung, die hier in der Analyse berücksichtigt wurden, bedeutet dies, dass nur vier Mal eine Abwendung während einer MMI-Bedienung entdeckt wurde, was deutlich zu wenig ist. Dies deckt sich mit den bei Trefflich (2010) gewonnenen Erkenntnissen, dass die Kopfrotation bei einer Infotainment-Bedienung eher gering beziehungsweise kaum von den Kopfbewegungen bei aufmerksamer Fahrt unterscheidbar ist.

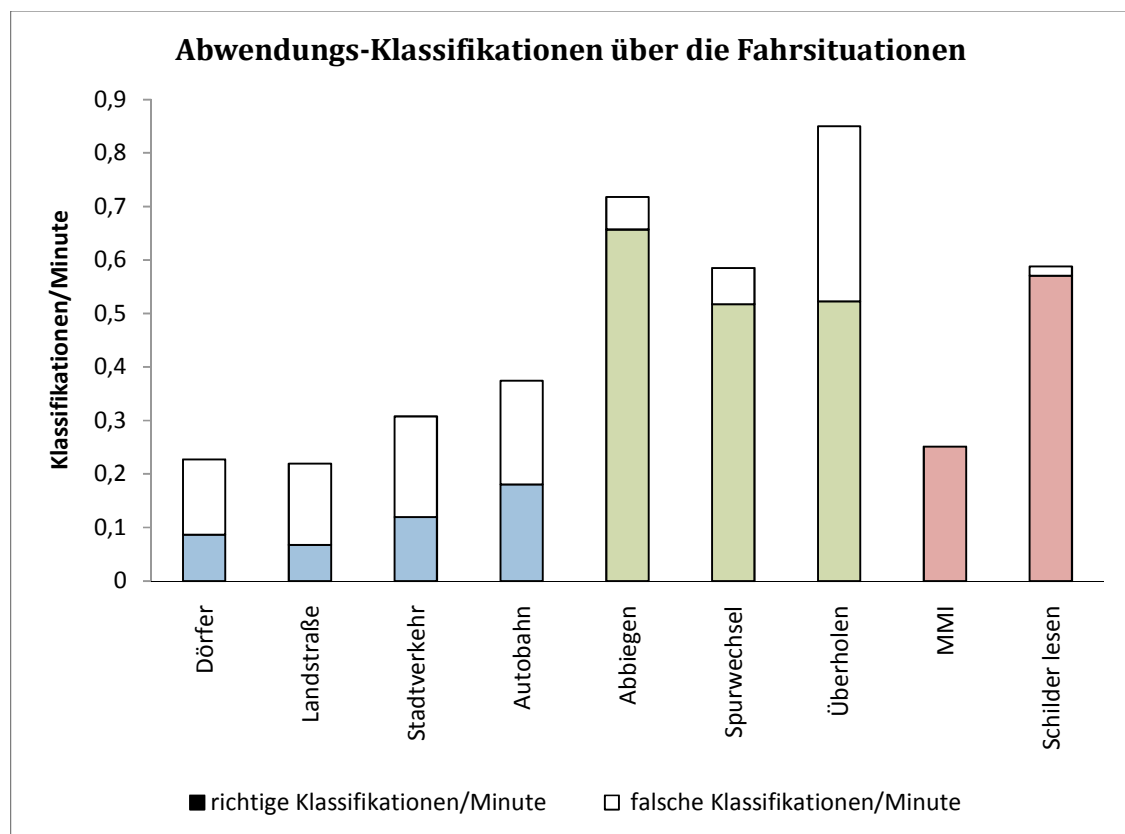


Abbildung 3.6: Abwendungs-Klassifikationen über verschiedene Fahrsituationen  
(blaue Balken: Baselinefahrten, grüne Balken: Fahrmanöver, rote Balken: Ablenkungssituationen)



Betrachtet man die Anzahl an falschen Klassifikationen, so wird deutlich, dass diese während der Fahrmanöver (mit Ausnahme der Überholmanöver) und bei den ablenkenden Tätigkeiten wünschenswert niedrig ausfällt. Während der Baselinefahrten sind jeweils mindestens 50 % der Klassifikationen als falsch einzustufen. Hier finden sich zwischen 0,14 und 0,19 falsche Klassifikationen pro Minute. Anders ausgedrückt ist mit dem gewählten Algorithmus alle 5 bis 6 Minuten eine Fehlklassifikation bei aufmerksamer Fahrweise (Baseline) zu erwarten.

Problematisch bei dieser Analyse ist, dass keinerlei Informationen bezüglich der „ground truth“ vorhanden sind. Es ist nicht klar, wie oft die Fahrer ihre Blicke während der Fahrten tatsächlich von der Fahrbahn abgewandt haben und somit eine Klassifikation hätten hervorrufen müssen. Es kann daher lediglich vermutet werden, was bei einer Anpassung des Algorithmus passieren würde. Zunächst ist davon auszugehen, dass über ein schmaleres Aufmerksamkeitsband vermehrt Klassifikationen während der MMI-Bedienung und der Schilder-Aufgabe zu finden wären. Dies wäre sicherlich zu begrüßen, da gerade eine Infotainment-Bedienung eine typische beanspruchende Nebentätigkeit ist und mit den genutzten Parametern nicht klassifiziert werden konnte. Ein schmaleres Aufmerksamkeitsband würde aber auch zu einer deutlich höheren Anzahl an unerwünschten Fehlklassifikationen bei aufmerksamer Fahrt (Baseline-Fahrten auf den vier Straßentypen) führen. Der damit gewonnene Vorteil, mehr Abwendungen erkennen zu können, würde dann durch viele falsche Abwendungs-Klassifikationen wieder aufgehoben.

Denkbar wäre auch, das Kriterium der Dauer von 1,5 Sekunden auf beispielsweise 1,0 Sekunde herabzusetzen. Möglicherweise würde auch dies die Detektion von Blicken zum Infotainment-System ermöglichen. Aber auch dieses Vorgehen würde das Problem der Fehlklassifikationen während aufmerksamer Fahrweise noch zusätzlich verschärfen.

Letztendlich ist damit über einen solchen Algorithmus, der die Kopffrotation und die Dauer der Abwendung des Kopfes berücksichtigt, kaum ein höheres Potential hinsichtlich der Schätzung von Blickabwendungen von der Straße zu erwarten.

Zusammenfassend lässt sich damit sagen, dass das gewählte Aufmerksamkeitsband eine Annäherung an eine Erfassung visueller Abwendung und die Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers ermöglicht. Dabei muss festgehalten werden, dass größere Abwendungen, wie in der Schilder-Aufgabe oder bei einem Schulterblick, jedoch keine geringeren Abwendungen, wie zum Infotainment-Display, detektiert werden können. Insgesamt erscheint es damit schwierig, über eine Erfassung der Kopforientierung die tatsächliche Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers zu schätzen.

#### **3.4. Diskussion: Schätzung von Ablenkung über die Erfassung der Wahrnehmung des Fahrers**

Visuelle Wahrnehmung ist essentiell für die sichere Führung eines Kraftfahrzeugs. Im Rahmen der Querführung gilt es, das Fahrzeug innerhalb der Fahrspur zu stabilisieren und Straßenkrümmungen durch entsprechende Lenkbewegungen zu antizipieren (Land und Lee 1994; Land und Horwood 1998). Im Bereich der Längsführung müssen Distanzen und Geschwindigkeiten zwischen Eigen- und Fremdfahrzeugen eingeschätzt werden (vgl. Mestre 2002), um Kollisionen zu vermeiden. Richtet ein Fahrer zu wenig Aufmerksamkeit auf diese Faktoren (und zu viel auf eine andere Aktivität), ist er abgelenkt und kann die sichere Fahrzeugführung nicht mehr gewährleisten. Daher ist es naheliegend, über die Blickabwendung eines Fahrers auf Ablenkung zu schließen. Dabei muss aber berücksichtigt werden, dass eine Blickabwendung von der Straße auch im Rahmen normaler Aufmerksamkeitsprozesse erfolgen kann und nicht immer einem zu starken Abzug von Ressourcen von der Fahraufgabe entspricht. Zum Beispiel beeinträchtigt ein kurzer Blick auf das Navigationsgerät in keinsten Weise die sichere Führung des Fahrzeugs. Bei einer Erkennung von Ablenkung im Auto kann eine Blick- und Aufmerksamkeitsabwendung von der Straße daher nur dann als negativ bewertet werden, wenn gleichzeitig eine Verkehrssituation besteht, die zusätzliche Aufmerksamkeit des Fahrers benötigt.

Angenommen, dass eine solche Situation erkannt wird, stellt sich hier nun die Frage, wie gut über Systeme zur Erfassung der Blick- und Kopfbewegungen die Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers erkannt werden kann. Für Systeme zur Erfassung der Blickrichtung ist die Frage schnell beantwortet. Studien, die sich damit auseinandergesetzt haben, zeigen recht hohe Erkennungsraten (Lee et al. 2007a; Kutila 2006; Kutila et al. 2007), das heißt, dass über ein solches System die Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers gut erfasst werden kann. Dies ist insofern positiv, da viele Nebentätigkeiten beim Autofahren mit einer Blickabwendung von der Straße einhergehen (vgl. Dingus et al. 2006) und über ein solches System erfasst werden könnten. Die Erfassung von Blickbewegungen hat außerdem einen wesentlichen Vorteil: Sie erfolgt sehr direkt und zeitnah. Gerade für die Vorhersage von Ablenkung (im Gegensatz zu einer sich langsam entwickelnden Müdigkeit) ist eine zeitnahe Aussage wichtig. Nachteilig im Vergleich zu anderen Methoden ist jedoch, dass es für die Funktionsfähigkeit des Systems nicht zu Verdeckungen des Fahrerkopfes und der Augen kommen darf. Bei einem Einbau der Kameras ins Kombiinstrument ist dies ein Problem, da Arme, Hände und Lenkradspeichen die Sicht auf den Fahrer behindern. Hier muss je nach Fahrzeugtyp über eine gute Einbauposition entschieden werden.

Insgesamt ist damit von einem großen Potential von Blickerfassungssystemen zur Schätzung einer Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers auszugehen. In Kombination mit einer Situationserkennung können diese Informationen sehr gut für die Erkennung von Ablenkung genutzt werden.

So positiv dies jedoch scheint: Noch sind Blickerfassungssysteme von technischer Seite nicht für den Einsatz in Serienfahrzeugen geeignet. Neben der hohen Rechenleistung ist für eine ausreichende Genauigkeit nach wie vor eine softwaregesteuerte Kalibrierung notwendig. Bis zur technischen Realisierung von sich automatisch-kalibrierenden Blickerfassungssystemen in Serienfahrzeugen könnten kopfbasierte Systeme eine Alternative sein. Neben der geringeren Rechenleistung ist eine automatische und relativ exakte Erfassung des Fahrerkopfes auch schon heute mit einer Monokamera möglich

(zum Beispiel Seeing Machines 2009b). Die Frage ist, welche Informationen über eine Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers anhand seiner Kopforientierung extrahiert werden können.

Auch wenn Studien einen engen Zusammenhang zwischen Augen- und Kopforientierung nahelegen (Land und Horwood 1996; Zhang et al. 2008a), konnte die eigene Studie nur einen sehr geringen Zusammenhang aufzeigen. Damit ist auch der weitere Schluss auf die Aufmerksamkeitszuweisung des Fahrers schwierig. Die Analyse des eigenen Algorithmus zeigt, dass über eine Berücksichtigung des zeitlichen Verlaufs der Kopforientierung zwar Blickabwendungen zu Straßenschildern außerhalb des Fahrzeugs erkannt werden können, dass aber die Erkennung einer Aufmerksamkeitszuweisung zum Infotainment-Display ohne eine Erhöhung der falschen Vorhersagen bei aufmerksamer Fahrweise nicht möglich ist. Gerade in Hinblick auf typische, beim Autofahren durchgeführte Nebentätigkeiten, von denen Dingus et al. (2006) berichten, ist fraglich, welche dieser Nebentätigkeiten tatsächlich mit größeren Kopfrotationen über einen ausreichend langen Zeitraum einhergehen und somit über ein kopfbasiertes System erkannt werden könnten.

Weiter bietet das System aus technischer Sicht ähnliche Vor- und Nachteile wie die Systeme zur Blickbewegungserfassung. Zwar ist die Erkennung ebenfalls direkt und zeitnah, aber auch hier muss ein entsprechender Einbauort gefunden werden, der verdeckungsfrei ist.

Letztendlich kann für eine Erfassung der Kopforientierung geschlossen werden, dass sie zumindest bei großen Kopfrotationen eine Aufmerksamkeitsabwendung von der Straße zu erkennen erlaubt, wenn auch eine umfassende Schätzung des visuellen Fokus und der Blickabwendungen des Fahrers nicht möglich ist. Dabei gilt das Gleiche wie bei der Blickerfassung. Wird eine Kopfabwendung in Kombination mit einer kritischen Situation (zum Beispiel einer drohenden Kollision) erkannt, kann ebenfalls davon ausgegangen werden, dass der Fahrer nicht ausreichend Aufmerksamkeit auf die Fahraufgabe lenkt und somit abgelenkt ist.

## 4. Direkte Erfassung von Nebentätigkeiten

---

Das vorangegangene Kapitel hat sich mit Möglichkeiten beschäftigt, über die Erfassung der Wahrnehmung des Fahrers auf seine Aufmerksamkeitsausrichtung zu schließen. Dabei wurde davon ausgegangen, dass Blickabwendungen zu einer verringerten Informationsaufnahme führen, die sich möglicherweise in einer unzureichenden kognitiven Verarbeitung und einer darauf basierenden falschen Handlung fortsetzt. Ist während einer Blickabwendung eine Verkehrssituation vorhanden, die viel Aufmerksamkeit des Fahrers erfordert, kann von einer Ablenkung ausgegangen werden. Dabei sind Blickabwendungen ein eher globales Maß, das bei vielen Nebentätigkeiten des Fahrers zu finden sein wird.

Eine weitere Möglichkeit einer Ablenkungsschätzung könnte darin bestehen, neben der Erfassung der Verkehrssituation direkt zu detektieren, dass der Fahrer mit einer nicht fahrbezogenen Aktivität beschäftigt ist. Dabei besteht das Problem, dass es eine Vielzahl möglicher Nebentätigkeiten im Fahrzeug gibt, die alle unterschiedliches Verhalten beinhalten (vgl. Abbildung 2.3 beziehungsweise Dingus et al. 2006). Mit der Anzahl der Nebentätigkeiten geht zwangsläufig eine Vielzahl an technischen Möglichkeiten einher, um diese zu erkennen. An dieser Stelle wird auf zwei Möglichkeiten eingegangen, mit denen zumindest ein Teil potentieller Nebentätigkeiten detektiert werden kann. Der hier vorgestellte, globalere Ansatz besteht darin, Kamera-basiert die Bewegungen des Fahrers oder einiger seiner Körperteile zu erfassen. Über dieses „Fahrertracking“ ist es denkbar, fahruntypische Stellungen der Gliedmaßen zu erkennen, wenn der Fahrer zum Beispiel etwas im Handschuhfach sucht. Diesbezügliche Studien werden im Kapitel 4.1 vorgestellt.

Ein weniger globaler Ansatz, der dafür aber technisch deutlich einfacher umzusetzen ist, ist die Erfassung der Bedientätigkeiten innerhalb des Fahrzeugs. Ausgehend von der Bedienung des Infotainment-Systems könnte ebenfalls auf eine Teilung der Aufmerksamkeitsressourcen und damit möglicherweise auf Ablenkung geschlossen

werden. Das Kapitel 4.2 beschäftigt sich mit diesbezüglicher Forschung und einer eigenen Studie.

Bei beiden Ansätzen besteht grundsätzlich das schon zuvor diskutierte Problem: Die alleinige Erkennung einer nicht-fahrbezogenen Aktivität lässt nicht automatisch eine dahingehende Aussage zu, ob der Fahrer zu viel Aufmerksamkeit von der Fahraufgabe abgezogen hat. Es muss im Einzelfall über die Erfassung der Verkehrssituation entschieden werden, ab wann der Fahrer eine Situation nicht mehr aufgrund seiner Ressourcen zu meistern im Stande ist und als abgelenkt klassifiziert werden kann.

### **4.1. Tracking von Körperteilen des Fahrers**

Innerhalb der „100-car-study“ von Dingus et al. (2006) finden sich eine Vielzahl an Nebentätigkeiten, bei denen der Fahrer seine Extremitäten aus einer „normalen Fahrposition“ beziehungsweise vom Lenkrad fort bewegt (vgl. Abbildung 2.3). Das Greifen nach Gegenständen im Fahrzeug, Essen oder Schminken sowie die Bedienung von Radio oder Navigationsgerät müssen mit (größeren) Arm- oder sogar Torsobewegungen einhergehen. Eine Erfassung der Position der Extremitäten des Fahrers könnte also einen sehr globalen und damit nützlichen Hinweis darauf liefern, ob der Fahrer mit Nebentätigkeiten beschäftigt ist oder ob er sich der Fahraufgabe widmet. Dabei entstehen die Fragen, wie eine technische Umsetzung aussehen könnte, mit Hilfe derer eine solche Erfassung möglich wäre und inwieweit von der Position eines Körperteils auf eine Aufmerksamkeitssteilung des Fahrers geschlossen werden kann.

#### **4.1.1. Forschungsstand**

Diesbezügliche Studien gibt es noch sehr wenige. Ein erster derartiger Ansatz einer videogestützten Fahrerüberwachung findet sich bei Wahlstrom, Masoud und Papanikolopoulos (2004). Diese positionierten neben einem stehenden Fahrzeug eine Kamera. In diesem Kamerabild wurde ein Bereich definiert, der das Radio des Fahrzeugs zeigte. Änderungen der Pixel dieses Bereichs sollten mit einer Bedienung des Radios

gleichgesetzt werden können. Wahlstrom und Kollegen berichten jedoch von Problemen bei der Detektion und führten keine detaillierte Evaluierung durch, so dass keine weiteren Aussagen aus dieser Studie abgeleitet werden können.

Park und Trivedi (2005) nutzten eine CCD-Kamera, um verschiedene Körperteile des Fahrers im Fahrzeug erfassen zu können. Der Verarbeitungsalgorithmus arbeitet vereinfacht dargestellt wie folgt: Zunächst wurde im Kamerabild nach einer ovalen hautfarbenen Fläche gesucht, die dann als Gesicht definiert wurde. Basierend auf einem Körpermodell und der Position des Gesichts schätzten sie die Stellung anderer Körperteile. Zusätzlich wurden bestimmte ortsfeste Regionen wie zum Beispiel Lenkrad und Kombiinstrument definiert. Im Rahmen der Erkennung fand eine Grammatik – bestehend aus dem Tripel Agent (Körperteil), Bewegung und Ziel – Anwendung. Die Bedienung des Radios zum Beispiel wurde über das Tripel „Agent: Arm – Bewegung: strecken – Ziel: Radio“ definiert. Neben der Radiobedienung sollten aber vor allem Bewegungen im Rahmen von Fahrmanövern (Schulterblick) beziehungsweise Handlungen im Rahmen der Fahrtätigkeit (zum Beispiel Schalten) erfasst werden. So interessant der Ansatz auch scheint, das System war noch nicht auf eine perfekte Erkennung ausgelegt, so dass eine Analyse der Genauigkeit im Rahmen einer experimentellen Studie nicht stattfand.

Eine Erweiterung des Systems durch mehrere Infrarot- und CCD-Kameras, befestigt an verschiedenen Positionen innerhalb des Fahrzeugs, findet sich bei Cheng, Park und Trivedi (2005). Durch die unterschiedlichen Positionen der Kameras wurde eine 3D-Erkennung ermöglicht, wobei die Kombination aus Infrarot- und CCD-Kameras die Genauigkeit erhöhen sollte. Eine Evaluation der Leistungsfähigkeit des Systems erfolgte nur teilweise in Cheng, Park und Trivedi (2007). Hier wurden nicht mehr Torso und Arm, dafür aber die Hand des Fahrers in Kombination mit den Lenkradbewegungen erfasst. Im Rahmen dieser Umorientierung wurde auch von der Betrachtung der Radiobedienung Abstand genommen und der Fokus allein auf Abbiege-Manöver gelegt. Letztendlich konnten die Autoren zeigen, dass mit Hilfe eines stabilen Trackings von

Kopf und Händen auf das Durchführen eines Abbiegemanövers geschlossen werden kann. Eine Übertragbarkeit auf die Bedienung des Radios scheint naheliegend.

Veeraraghavan, Atev, Bird, Schrater und Papanikolopoulos (2005) und Veeraraghavan, Bird, Atev und Papanikolopoulos (2007) untersuchten über Bildverarbeitung beziehungsweise eine Erfassung des Kopfs und der Hände die Unterscheidbarkeit von aufmerksamen und unaufmerksamen Fahrern. Dabei wurden drei beziehungsweise sechs Fahrer von einer seitlich am Fahrzeug stehenden Kamera beziehungsweise einer Kamera oberhalb der Fahrerschulter gefilmt. Dabei wurde nicht tatsächlich Auto gefahren, sondern die Versuchspersonen waren in einem stehenden Fahrzeug dazu angehalten, sich so zu verhalten, als würden sie fahren. Mit Hilfe einer unüberwachten Clusterung der Bewegungen der Arme und Hände sowie des Kopfes im ersten Schritt und eines darauf folgenden *überwachten Bayes-Eigenbild-Klassifizierers* konnten Phasen, in denen der Fahrer ein Handy benutzte, das Radio einstellte und aus einer Dose trank von Phasen, in denen der Fahrer aufmerksam nach vorne blickte, mit einer Genauigkeit von 73,9 % beziehungsweise 95,9 % klassifiziert werden.

Letztendlich bleibt festzuhalten, dass die geringe Anzahl an Versuchspersonen und das prototypische Autofahren, sowie die simulierten Ablenkungen die Vorhersage stark vereinfachen. Eine Echtzeitfähigkeit der Algorithmen wurde noch nicht erreicht.

Die vorgestellten Studien machen deutlich, dass das Tracking verschiedener Körperteile eines Fahrers denkbar ist. Erste Ergebnisse zeigen, dass Hände und Kopf von einer einzelnen Kamera erkannt werden können und dass ein Tracking von Armen und Oberkörper mit multiplen, multimodalen Kameras möglich ist. Die Realisierung in „Standversuchen“ ist eine starke Vereinfachung gegenüber realen Verkehrssituationen, da durch die fest vorgeschriebenen Verhaltensanweisungen („Bedienen Sie das Radio“, „Tun Sie so, als würden sie Autofahren.“) viele erdenkliche Bewegungen des Fahrers (zum Beispiel ein Schulterblick oder das Hineingreifen in das Handschuhfach) nicht berücksichtigt werden. Weiter wird die Situation dahingehend vereinfacht, dass das Videobild durch Lichteinflüsse und nicht veränderliche Umwelt deutlich weniger



komplex ist als bei einer realen Fahrt. Es ist jedoch nur eine Frage der Zeit, bis derartige Probleme technisch gelöst sind und entsprechende Studien durchgeführt werden können. Microsoft plant die Einführung des „Natal“ Systems für die Spielkonsole Xbox 360. „Natal“ ermöglicht zur Steuerung eines Video-Spiels ein komplettes Körpertracking über zwei Kameras, wobei sowohl eine kleine Bewegung eines Fingers als auch schnelle Bewegungen - wie zum Beispiel das Schwingen eines virtuellen Tennisschlägers - erkannt werden sollen (Vaughan-Nichols 2009). Die Einführung eines solchen Produktes auf dem Consumer-Markt verdeutlicht, dass diese Technik heute schon leistungsstark und gleichzeitig kostengünstig ist und somit möglicherweise auch für den Automobilmarkt einsatzfähig wäre.

##### **4.1.2. Diskussion: Schätzung von Ablenkung über ein Tracking von Körperteilen**

Unabhängig von den technischen Problemen kann diskutiert werden, inwieweit über diese Informationen auf eine Aufmerksamkeitsreduktion auf Seiten der Fahraufgabe beziehungsweise in einem weiteren Schritt auf die Ablenkung des Fahrers geschlossen werden kann.

Aus der Information, dass der Fahrer seine Hände oder Arme in einer stark fahruntypischen Ausrichtung positioniert, also zum Beispiel in Richtung Handschuhfach greift, kann mit hoher Wahrscheinlichkeit darauf geschlossen werden, dass er dem Fahrgeschehen nicht seine volle Aufmerksamkeit zukommen lässt. Unabhängig von dieser stark fahruntypischen Ausrichtung existiert jedoch ein großer Graubereich, in dem Hand- und Körperorientierung möglicherweise „unnormal“ sind und in dem ein Schluss auf die kognitiven Prozesse des Fahrers und seine Aufmerksamkeitsausrichtung nicht möglich ist. Die Erkennung einer Hand auf dem Beifahrersitz kann sowohl mit einem dort befindlichen ablenkenden Gegenstand in Verbindung stehen als auch ein Ausruhen des Armes darstellen. Allgemeiner gesprochen kann die Stellung der Extremitäten im Einzelfall mit einer minimalen als auch mit einer vollständigen Aufmerksamkeitszuweisung zur Fahraufgabe einhergehen. Dieses System erlaubt somit keine Messung der Aufmerksamkeitsausrichtung oder Ablenkung, sondern in

Einzelfällen die Detektion einer Nebentätigkeit des Fahrers. Wäre es möglich, die Nebentätigkeit zu identifizieren, könnte darüber eine Abschätzung der dafür notwendigen kognitiven Ressourcen erfolgen. So ist zum Beispiel davon auszugehen, dass die Eingabe an einem Navigationsgerät beanspruchender ist als das Essen einer Süßigkeit. Aber auch hier wird es nur im Einzelfall (zum Beispiel bei einer Infotainment-Bedienung) möglich sein, die konkrete Nebentätigkeit zu erkennen. So bleibt als überwiegender Nutzen die Erkennung einer untypischen Haltung des Fahrers, die in Einzelfällen mit einer Nebentätigkeit in Verbindung gebracht werden kann.

Wie schon in Kapitel 2.4 beschrieben gilt auch hier, dass - abgesehen von stark untypischen Körperhaltungen - nur dann auf eine Ablenkung geschlossen werden kann, wenn gleichzeitig eine hohe Anforderung aus der Verkehrssituation vorliegt. Ein Ausstrecken des Armes zum Beifahrersitz allein ist kein hinreichender Hinweis auf eine unzureichende Aufmerksamkeitszuweisung zur Fahraufgabe.

Zusammenfassend kann durch ein Tracking der Körperteile des Fahrers in Einzelfällen auf die Durchführung einer Nebentätigkeit und eine Teilung der Aufmerksamkeitsressourcen geschlossen werden.

#### **4.2. Erfassung von Bedientätigkeiten (Studie 2)**

Eine weitere Möglichkeit zur Erfassung der Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers stellt die Erfassung der Bedienung eines Infotainment-Systems dar. Zwar ist die Bedienung dieser Systeme im Fahrzeug nur ein kleiner Teil der üblicherweise durchgeführten Nebentätigkeiten (vgl. Abbildung 2.3), jedoch ist durch die Bedienung eine hohe Beanspruchung zu erwarten. Im Gegensatz zu der im Kapitel 4.1 beschriebenen Lösung, die Ausrichtung der Extremitäten mit Hilfe einer Kamera zu tracken, bedarf die Erfassung dieser Bedientätigkeiten eines deutlich geringeren technischen Aufwands.

Es existiert eine Vielzahl an Studien, die die ablenkende Wirkung von Navigationseingaben (Tsimhoni, Smith und Green 2004; Tijerina, Parmer und Goodman 1998), dem Wählen einer Telefonnummer (Reed und Green 1999), einer Radio-

Bedienung (Wikman, Nieminen und Summala 1998) oder Ähnlichem zeigen (Blanco, Biever, Gallagher und Dingus 2006). Young, Reagan und Hammer (2003) geben einen Überblick über die in den Studien gefundenen Effekte: Im Bereich der Querverführung finden sich eine größere Varianz der Querabweichung und mehr Spurverlassensereignisse. Auf Seiten der Längsführung sind eine höhere Variabilität der Geschwindigkeit und der Fahrpedalstellung sowie längere Reaktionszeiten zu verzeichnen.

Die dargestellten Tätigkeiten verlangen zum einen eine visuelle Zuwendung zum Infotainment-System und zum anderen kognitive Kapazitäten. Dabei sind die bei Young et al. (2003) aufgeführten Effekte nicht nur auf die visuelle sondern auch auf die kognitive Ressourcennutzung der Tätigkeiten zurückzuführen. Im Rahmen von Studien zur ablenkenden Wirkung von Mobiltelefonen wurde untersucht, inwieweit sich rein kognitive Belastung auf die Fahraufgabe auswirkt. In einer diesbezüglich durchgeführten Metaanalyse von Horrey und Wickens (2006) wurde analysiert, ob ein Gespräch oder Telefonat ohne visuelle Abwendung Auswirkungen auf die Fahraufgabe hat. Dabei fand sich kein Effekt auf die Spurführung<sup>2</sup>. In einer ähnlichen Metaanalyse von Caird, Willness, Steel und Scialfa (2008) fand sich zwar ein signifikanter Effekt kognitiver Beanspruchung auf die Spurführung, die Autoren führen diesen jedoch aufgrund der Effektstärke als vernachlässigbar an. Anders ist dies bei der Reaktion auf unvorhersehbare Ereignisse. In Studien von Cooper, Zheng, Richard, Vavrik, Heinrichs und Siegmund (2003) und Recarte und Nunes (2003) zeigte sich, dass Fahrer aufgrund von kognitiver Beanspruchung (Gespräche oder Lernaufgaben) signifikant länger benötigten, um auf Reize zu reagieren oder sich zu entscheiden. Recarte und Nunes (2003) führten dies auf eine verzögerte sensorische Verarbeitung unter anderem durch eine schlechtere periphere Wahrnehmung zurück. Lee, Hoffman, Bricker und Sohn (2007b) führten an, dass kognitiv abgelenkte Fahrer selbst bei fovealer Fixation weniger Informationen und Ereignisse wahrnehmen.

---

<sup>2</sup> Hierbei wurde nur die normale Spurführung untersucht und nicht die Reaktion in kritischen Situationen, in denen Fahrer zum Beispiel ausweichen mussten.

Diese Ergebnisse decken sich mit den Theorien zu geteilter Aufmerksamkeit im Kapitel 2.1.2 dieser Arbeit. Die Verteilung der Aufmerksamkeitsressourcen auf die Fahraufgabe und die Nebentätigkeit führt zu Einschränkungen der Leistung innerhalb beider Aufgaben, wobei an dieser Stelle die Fahraufgabe von besonderem Interesse ist. Das *Modell multipler Ressourcen* von Wickens (1980, 2002) hilft, die Ergebnisse einzuordnen. Die oben genannten Studien zeigen, dass eine rein kognitive Aufgabe ohne visuelle Komponenten die Reaktionszeit des Fahrers vergrößert, jedoch in der Regel keinerlei Einfluss auf die Spurhaltung hat. Dies ist über das *Modell multipler Ressourcen* damit zu erklären, dass die Nebenaufgaben (zum Beispiel Lernaufgaben, Telefongespräche) akustisch dargeboten wurden (Modalität) und die Informationen überwiegend semantischer Natur (Code) waren. Durch diese Aufgaben kommt es zu Interferenzen mit der Verarbeitung der für die Fahraufgabe relevanten Ereignisse, die ebenfalls semantische Ressourcen benötigen. Da für das Führen des Fahrzeugs innerhalb der Spur in der Regel vor allem räumliche Ressourcen und keine semantische Verarbeitung notwendig sind, treten hier keine oder nur wenige Interferenzen auf. Einschränkungen erfolgen aber, wenn die Nebentätigkeit auch größere visuelle Abwendung erfordert, da hier Überschneidungen der Ressourcen hinsichtlich Modalität und visuellem Kanal stattfinden.

Das *Modell multipler Ressourcen* hilft, eine Vorhersage hinsichtlich der Beanspruchung des Fahrers und möglicher Interferenzen zwischen der Fahraufgabe und einer speziellen Tätigkeit zu machen. Basierend auf dieser Beanspruchung kann aber nicht automatisch von einer Ablenkung ausgegangen werden. Denn Ablenkung ist, wie in Kapitel 2.2.2 definiert, eine Folge fehlerhafter Kontrollprozesse, die in einer zu geringen Aufmerksamkeitszuweisung zur Fahraufgabe resultieren. Trotzdem ist die Wahrscheinlichkeit für eine Ablenkung bei Nutzung gleicher Ressourcen erhöht.

Während die bisherige Diskussion auf der Qualität der Ressourcennutzung basierte, muss auch die Quantität der Ressourcennutzung in Betracht gezogen werden. Nebentätigkeiten können sehr unterschiedlich beanspruchend sein. Während das

Wechseln eines Radiosenders möglicherweise sehr wenig Zeit in Anspruch nimmt, wird eine manuelle Eingabe in ein Navigationssystem deutlich länger dauern. Damit ist nicht nur von einer längeren visuellen Abwendung sondern auch von unterschiedlichen kognitiven Anforderungen und somit unterschiedlichen Auswirkungen auf die Fahrzeugführung auszugehen. Wird während einer ressourcenfordernden Bedienung eines Infotainment-Systems (hohe Anforderungen der Nebentätigkeit) gleichzeitig ein sich kritisch verändernder Abstand zum Vorausfahrenden erkannt (hohe Anforderung der Fahraufgabe), so ist die Wahrscheinlichkeit für ein Erreichen der Ressourcenlimits und eine unzureichende Handlung des Fahrers hoch. Im Gegensatz dazu ist die Wahrscheinlichkeit für eine unzureichende Aufmerksamkeitsteilung bei dem Führen eines Telefonats und der Annäherung an eine Spurmarkierung deutlich geringer, da hier überwiegend distinkte Ressourcen genutzt werden.

Soll nun über Bedienhandlungen eines Infotainment-Systems auf eine Beanspruchung des Fahrers geschlossen werden, muss die Quantität der Ressourcennutzung durch die Bedienhandlung Berücksichtigung finden. In der Literatur finden sich keine Hinweise darauf, ob verschiedene Infotainment-Bedienhandlungen auch Ressourcen in einem unterschiedlichen Ausmaß nutzen. Daher wurde eine eigene Studie durchgeführt, die speziell die folgende Frage beantworten sollte:

*Inwieweit kann von einzelnen Bedienhandlungen an einem Infotainment-System auf eine Beanspruchung des Fahrers geschlossen werden?*

##### **4.2.1. Beanspruchung durch Bedientätigkeiten an einem Infotainment-System**

Im Folgenden wird zunächst der Aufbau des Experiments beschrieben. Dabei wird näher auf das Versuchsfahrzeug und das Infotainment-System eingegangen. Daran anschließend erfolgt eine Beschreibung des Versuchsablaufs, der durchgeführten Bedienhandlungen und der erhobenen Daten (Kapitel 4.2.1.1). Abschließend erfolgt eine Darstellung (Kapitel 4.2.1.2) und Diskussion der Ergebnisse (Kapitel 4.2.1.3).

#### **4.2.1.1. Versuchsaufbau und -ablauf**

##### **4.2.1.1.1. Versuchsträger und Infotainment-System**

Als Versuchsträger diente ein Audi A6 Avant (Modelljahr 2005), der mit einem Audi Multimedia-Interface (MMI) sowie Messtechnik ausgestattet war. Da die Bedienung des MMI in dieser Studie von zentraler Bedeutung ist, wird dies zunächst ausführlich erläutert.



Abbildung 4.1: Versuchsträger im Versuch „MMI-Bedienung“

#### *Audi-Infotainment (MMI)*

Der Dreh-Drücksteller des MMI befindet sich serienmäßig zwischen dem Fahrer- und Beifahrersitz. Das Display ist zentral im Armaturenbrett in Höhe des Kombiinstrumentes angeordnet. Abbildung 4.1 zeigt den Dreh-Drücksteller und das Display im Versuchsfahrzeug.

Die Bedienlogik des MMI lässt sich über seine Hauptkomponenten beschreiben. Die Abbildung 4.2 zeigt das Bedienelement (Abbildung 4.2a) und verschiedene Anzeigetypen auf dem MMI-Display (Abbildung 4.2b-d). Die Hauptfunktionen des MMI (zum Beispiel Navigation, Radio, Telefon, usw.) sind über acht sogenannte „Hardkeys“ abrufbar. Diese befinden sich auf der linken und rechten Seite des Bedienelements (Abbildung 4.2a). Unterfunktionen dieser Hauptfunktionen (zum Beispiel der Zielspeicher im Navigationsmenü) werden nach deren Aufruf in den vier Ecken des Display angezeigt. Diese sind über vier „Softkeys“ wählbar, die direkt um den zentralen Dreh-Drücksteller angeordnet sind und deren Funktion sich je nach Hauptfunktion unterscheidet. So wird zum Beispiel bei einer Ausgangskonfiguration wie in Abbildung 4.2b bei Drücken des Softkeys links-oben der Zielspeicher aufgerufen.



Abbildung 4.2: Anzeige und Bedienung des Audi MMI im Versuchsträger

Die meisten Eingaben erfolgen über den Dreh-Drücksteller. Durch eine Drehung nach links oder rechts kann in den Menüs nach oben beziehungsweise unten gescrollt werden. Durch ein Drücken wird das hervorgehobene Item ausgewählt. Diese

Darstellungsweise auf dem Display in den Abbildung 4.2b+d wird im Folgenden „Liste“ genannt.

Für eine Navigations- oder Namenseingabe sowie für die Eingabe von Telefonnummern dient der sogenannte „Speller“, der in Abbildung 4.2c dargestellt ist. Die Symbole sind hierbei kreisförmig angeordnet und können ebenfalls über Drehen und Drücken des Dreh-Drückstellers ausgewählt werden.

##### *Versuchsträger*

Das Versuchsfahrzeug war mit Messtechnik zur Erfassung der CAN-Bus Daten ausgestattet. Dabei konnte ein Versuchsleiter im Fond des Wagens über einen PC die Messungen starten und beenden sowie Kommentare bei Störungen im Versuchsablauf dokumentieren. Als Software zur Erfassung der Daten wurde CANape (Vector Informatik GmbH) genutzt, über das zeitsynchron die Videos zweier Kameras (Szene vor dem Fahrzeug und vom Fahrer) aufgezeichnet wurden.

##### 4.2.1.1.2. Versuchsablauf und Versuchsstrecke

##### *Einweisung und Gewöhnung an das Versuchsfahrzeug*

Vor Beginn der eigentlichen Messfahrten erfolgte zunächst eine kurze Befragung (demographische Daten) und eine anschließende Einweisung in das Versuchsfahrzeug. Damit verbunden war ein 30-minütiges Training sechs verschiedener Aufgaben am MMI (siehe Abschnitt Nebentätigkeiten). Sobald die Versuchspersonen angaben, sich mit dem Fahrzeug und der Bedienung des MMI sicher zu fühlen, wurde das Testgelände verlassen und die eigentliche Teststrecke angefahren, auf der die Datenerhebung stattfand.



##### *Datenerhebung*

Der Landstraßenabschnitt, auf der die Messungen der Beanspruchung durch die MMI-Bedienung durchgeführt wurden, hatte eine Länge von etwa zwei Kilometern, war überwiegend gerade und wies durchgängig Spurmarkierungen auf. Die Spurbreite lag zwischen 3,3 und 3,4 Metern.

Der grundsätzliche Ablauf der Messfahrten war wie folgt: In einer Parkbucht wurde den Teilnehmern die durchzuführende Aufgabe genannt. Sobald der Verkehr es zuließ, wurde die Parkbucht verlassen und zunächst auf eine Richtgeschwindigkeit von 100 km/h beschleunigt. An einem festgelegten Punkt auf der Strecke forderte der Versuchsleiter den Probanden auf, mit der Durchführung der Aufgabe zu beginnen und startete die Messung. Nach Beendigung der Aufgabe oder bei Erreichen des Endpunktes auf der Strecke wurde die Messung gestoppt und in einer weiteren Parkbucht angehalten, wo eine kurze Befragung erfolgte.

Jede Versuchsperson befuhr die Messstrecke zehn Mal. Bei acht Fahrten führte sie eine Aufgabe am MMI aus. Hierbei waren sechs Aufgaben zuvor auf dem Testgelände geübt worden. Zwei weitere Aufgaben wurden zum ersten Mal von den Fahrern durchgeführt (siehe Abschnitt Nebentätigkeiten). Die Fahrtrichtung wechselte von Aufgabe zu Aufgabe, wobei über alle Versuchspersonen und alle Aufgaben eine Gleichverteilung realisiert wurde. Jede Versuchsperson fuhr die Strecke zusätzlich zweimal (jeweils einmal pro Richtung), ohne dabei eine Nebentätigkeit durchzuführen (Baseline). Die Reihenfolge der Fahrten mit Nebenaufgaben und der Baselinefahrten wurde dabei über die Versuchspersonen variiert, so dass sich keine Reihenfolge-Effekte einstellen konnten. Während jeder Fahrt zeichnete der Versuchsleiter die CAN-Bus Daten sowie zeitsynchron die Videos einer Fahrer- und einer Szenenkamera auf. Nach jeder Fahrt, bei der die Probanden das MMI bedient hatten, wurden diese dazu aufgefordert, auf einer fünfstufigen Likertskala die Ablenkung einzustufen (1 = „nicht ablenkend“ bis 5 = „stark ablenkend“).

#### 4.2.1.1.3. Nebentätigkeiten

Als Nebentätigkeiten wurden acht typische Aufgaben am MMI ausgewählt. Hierbei wurden die folgenden sechs Tätigkeiten zuvor auf dem Testgelände geübt:

- Radio: Bass und Höhen auf mittleres Niveau einstellen.
- CD: Das Lied "Sail away" einstellen.
- Telefonbuch: "Werner Blaschke" suchen und anrufen.
- Navigation – Sonderziel: Die nächste Tankstelle in den Sonderzielen suchen.
- Telefon: Eine vom Versuchsleiter diktierete 11 stellige Telefonnummer wählen.
- Navigation – Zieleingabe: "Burgholzhausen/Zentrum" als Ziel eingeben.

Auch Fahrer, die Erfahrung mit dem Audi MMI haben, werden nicht sämtliche Menüs zur Einstellung aller Funktionen kennen. Daher kommt es immer wieder vor, dass sie während der Fahrt nach bestimmten Funktionen suchen. Auch diese Situation wurde durch zwei Aufgaben simuliert, die zuvor nicht geübt worden waren und die bei der Messfahrt zum ersten Mal von den Fahrern durchgeführt wurden. Diese Aufgaben waren:

- Navigation – Lautstärke: Die Lautstärke der Navigationshinweise verändern.
- TV: Den TV-Standard auf „PAL“ ändern.

Für jede dieser Aufgaben lässt sich ein optimaler Lösungsweg beschreiben, der für die spätere Diskussion von Bedeutung ist. Die Tabelle 3 zeigt die Bedienschritte für die einzelnen Aufgaben.

Tabelle 3: Bedienschritte verschiedener MMI-Aufgaben

Die Angaben in den Klammern beziehen sich auf die Klicks bei Drehung des Dreh-Drückstellers.

Aufgabe	Bedienschritte
CD	Hardkey → Liste (8)
Radio	Hardkey → Softkey → Liste (2) → Speller (1) → Hardkey → Liste (1) → Speller (1)
Telefonbuch	Hardkey → Softkey → Liste (3) → Liste (16)
Nav.-Sonderziel	Hardkey → List (4) → Liste (0) → Liste (29)
Telefon	Hardkey → Speller (12)
Nav.-Zieleingabe	Hardkey → Liste (1) → Speller (9) → Liste (0) → Liste (1) → Liste (0)
TV	Hardkey → Softkey → Liste (1) → Hardkey → Liste (4) → Liste (5)
Nav.-Lautstärke	Hardkey → Softkey → Liste (6) → Liste (1) → Speller (1)

#### 4.2.1.1.4. Stichprobe

Zwölf Frauen und achtzehn Männer im Alter zwischen 23 und 59 Jahren wurden für den Versuch angeworben. Diese hatten in den letzten zwölf Monaten mindestens 10.000 km mit ihrem Wagen zurückgelegt.

#### 4.2.1.1.5. Abhängige Variablen

Zwei Messgrößen dienten zur Bestimmung der aus den Aufgaben resultierenden Beanspruchung als abhängige Variablen:

Zum einen wurde aus den CAN-Bus Daten die Querabweichung des Fahrzeugs relativ zur Spurmitte extrahiert. Die daraus errechenbare maximale Querabweichung ist ein valides Maß für Beanspruchung beim Autofahren (Wierwille et al. 1996). Diese wurde einmal für die gesamte Fahrt und einmal für die ersten zehn Sekunden jeder Fahrt berechnet, um somit den Effekt der unterschiedlichen Dauer der Aufgaben berücksichtigen zu können.

Als weitere abhängige Variable wurde ein subjektives Urteil hinsichtlich der ablenkenden Wirkung der Aufgaben erhoben.

Von der Analyse ausgeschlossen wurden Fahrten, bei denen es zu Störungen im Versuchsablauf gekommen war (Fahrradfahrer oder LKW, der von den Probanden überholt wurde).

#### 4.2.1.2. Ergebnisse

Die Abbildung 4.3 zeigt die gemittelten maximalen Querabweichungen für jede MMI-Aufgabe sowie die Baselinefahrten.

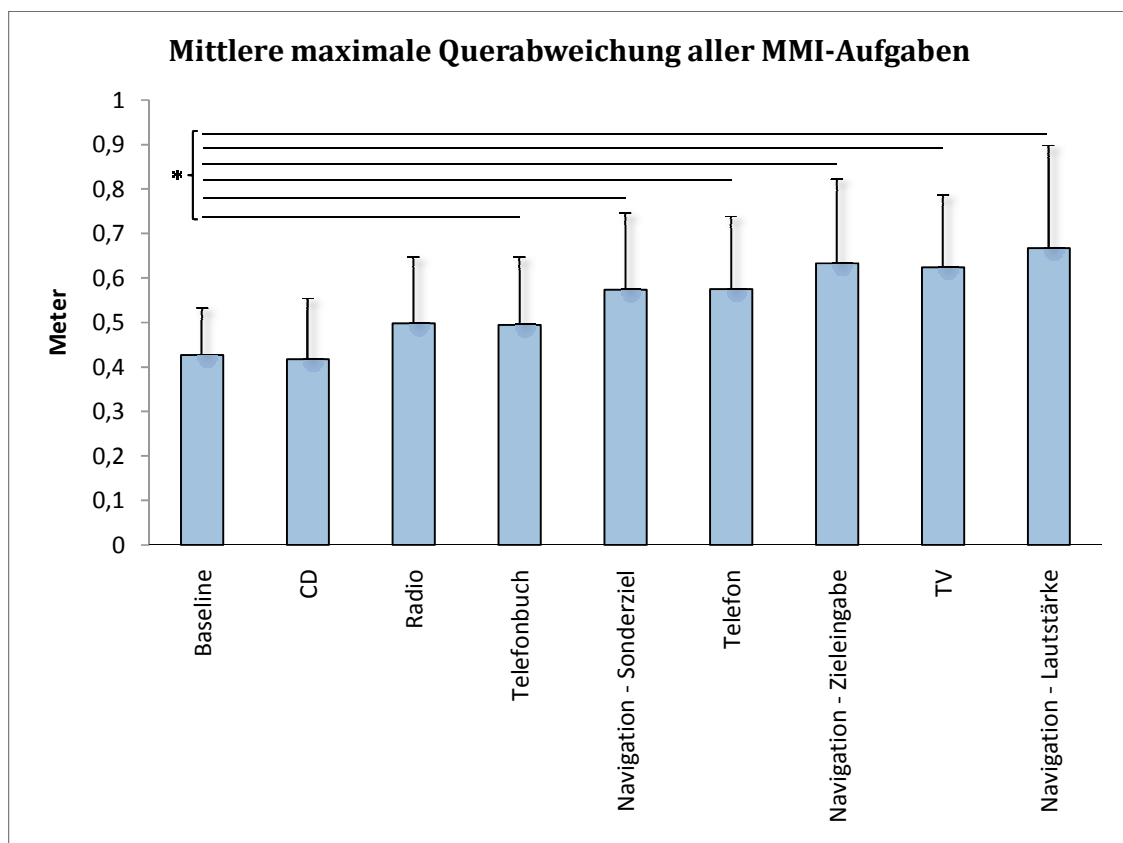


Abbildung 4.3: Mittlere maximale Querabweichungen bei MMI-Bedienung

Eine Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigte signifikante Unterschiede hinsichtlich der maximalen Querabweichung ( $F=17.901$ ,  $df = 8$ ,  $p<0.001$ ). Über Bonferroni post-hoc

Tests (adjustiertes  $\alpha$ ) wurde untersucht, zwischen welchen Aufgaben diese Unterschiede bestanden. Dabei zeigten sich signifikant höhere Abweichungen zwischen den Aufgaben "Telefonbuch", "Navigation - Sonderziel", "Telefon", "Navigation - Zieleingabe", "TV" und "Navigation - Lautstärke" und der Baseline.

Auch zwischen den Aufgaben fanden sich Unterschiede. "CD", "Radio" und "Telefonbuch" unterschieden sich signifikant von "Navigation - Zieleingabe", "TV" und "Navigation – Lautstärke". Zusätzlich unterschied sich die gemittelte maximale Querabweichung bei der Aufgabe "Radio" zu der bei "Navigation – Sonderziel" und "Telefon". Der Unterschied zwischen "Navigation – Sonderziel" und "Navigation – Lautstärke" war ebenfalls signifikant.

Die Ergebnisse entsprechen den Erwartungen. Bis auf bei den Aufgaben „CD“ und „Radio“ findet sich eine signifikant schlechtere Spurhaltung beziehungsweise eine höhere Beanspruchung während der Ablenkungsbedingungen im Vergleich zu den aufmerksamen Fahrten (Baseline).

Tabelle 4: Anzahl der Spurverlassensereignisse bei verschiedenen MMI-Aufgaben.

Aufgabe (auswertbare Fahrten)	Spurverlassensereignisse
Baseline (30)	0
CD (28)	0
Radio (30)	0
Telefonbuch (30)	0
Navigation – Sonderziel (25)	0
Telefon (27)	2
Navigation – Zieleingabe (26)	2
TV (29)	1
Navigation – Lautstärke (27)	3

Tabelle 4 zeigt zur Veranschaulichung die aufgetretenen Spurverlassensereignisse, operationalisiert durch das Überfahren der Außenkante einer Spurmarkierung, über alle auswertbaren Fahrten. In den meisten Fällen konnten die Fahrer das Fahrzeug in der Spur halten, ohne von der Fahrbahn abzukommen. In 8 von 222 Messfahrten überfuhren die Fahrer jedoch mindestens einmal die äußere Kante einer Spurmarkierung. Hierbei verteilen sich diese acht Ereignisse auf nur vier Aufgaben.

Abbildung 4.4 zeigt die gemittelte Dauer und das gemittelte subjektive Urteil hinsichtlich der Ablenkung durch die einzelnen Aufgaben.

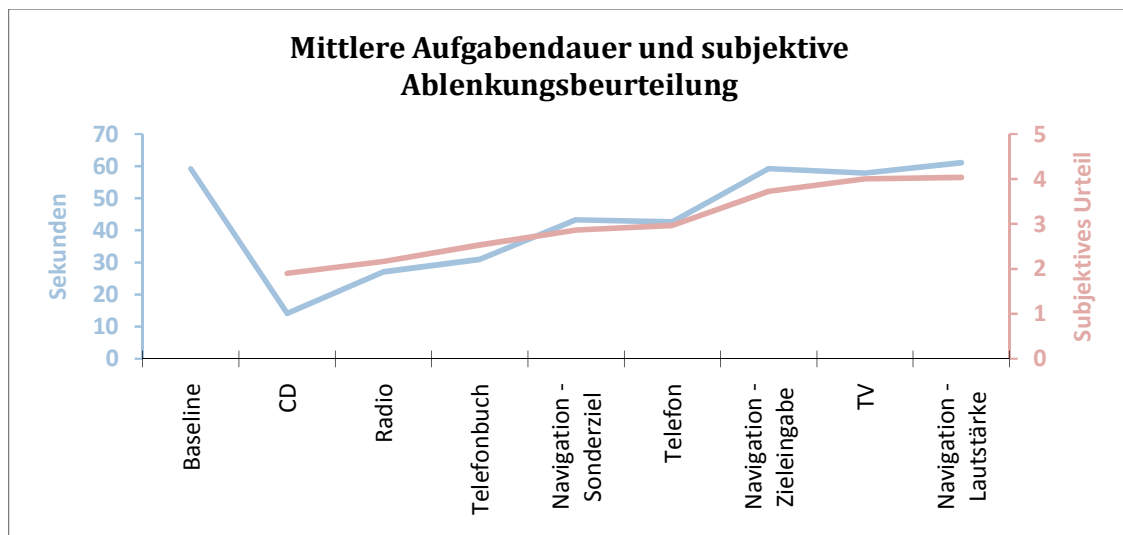


Abbildung 4.4: Subjektives Urteil und Aufgabendauer verschiedener MMI-Aufgaben

Es zeigt sich, dass alle Aufgaben subjektiv als zumindest leicht ablenkend beurteilt wurden. Die gemittelte Dauer bis zur Lösung der Aufgaben lag zwischen 14,1 und 61,1 Sekunden. Dabei wird deutlich, dass das subjektive Urteil in einem engen Zusammenhang mit der Aufgabendauer steht, also längere Aufgaben auch als stärker ablenkend beurteilt werden. Die vier Aufgaben, bei denen es zu einem Spurverlassen gekommen ist und die von den Fahrern als sehr ablenkend eingestuft wurden, sind die Aufgaben, für die die Fahrer die meiste Zeit benötigt haben.

Damit stellt sich die Frage, wodurch sich diese vier Aufgaben auszeichnen. Denkbar wäre zunächst, dass diese Aufgaben höhere kognitive Anforderungen stellen und somit verstärkt Kapazitäten bedürfen. Betrachtet man jedoch die Tabelle 3 hinsichtlich der notwendigen Bedienschritte bis zur Lösung der Aufgaben, sind diese nicht stark unterschiedlich. Auch bei anderen Aufgaben wurden ähnliche Eingaben über „Listen“ und „Speller“ sowie die Auswahl über „Hard- und Softkeys“ getroffen. Somit ist zunächst nicht von einer höheren kognitiven Anforderung auszugehen.

Unterschiedlich ist jedoch die Anzahl der einzelnen Bedienschritte, so dass die Unterschiede möglicherweise in der Dauer der Aufgaben und damit verbunden der visuellen Abwendung begründet sind. Um die Vermutung zu stützen, dass vorrangig die Dauer der Bedienung und weniger die kognitiven Anforderungen der einzelnen Aufgaben entscheidend sind, wurden in einer weiteren Analyse die ersten 10 Sekunden nach Bedienstart hinsichtlich der maximalen Querabweichung untersucht. Der mittlere Bedienstart nach Messungsbeginn lag bei etwa 2,7 Sekunden. Für die Baselinefahrten wurde daher die maximale Querabweichung im Bereich 2,7 – 12,7 Sekunden berechnet. Die Abbildung 4.5 zeigt die gemittelte maximale Querabweichung für die ersten 10 Sekunden nach Bedienstart jeder einzelnen Aufgabe sowie der Baselinefahrten.

Eine Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigte signifikante Unterschiede ( $F=6.251$ ,  $df = 8$ ,  $p<0.001$ ). Bonferroni post-hoc Tests (adjustiertes  $\alpha$ ) zeigten, dass die maximale Querabweichung aller Aufgaben signifikant höher war als die der Baseline. Es fanden sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Aufgaben.

Die Betrachtung der ersten 10 Sekunden Bedienhandlung stärkt die oben aufgeführte Hypothese, dass die Aufgabendauer von zentraler Bedeutung ist. Bei diesem Vergleich zeigt sich bei allen Aufgaben eine signifikant schlechtere Spurführung als bei aufmerksamer Fahrweise, wobei zwischen den MMI-Aufgaben keine Unterschiede bestehen. Auch durch dieses Vorgehen kann nicht ausgeschlossen werden, dass eine der Aufgaben höhere kognitive Anforderungen im Vergleich zu den anderen Aufgaben stellt.

Im Hinblick auf die Bedienschritte in Tabelle 3 ist ein Einfluss der Aufgabendauer jedoch wahrscheinlicher.

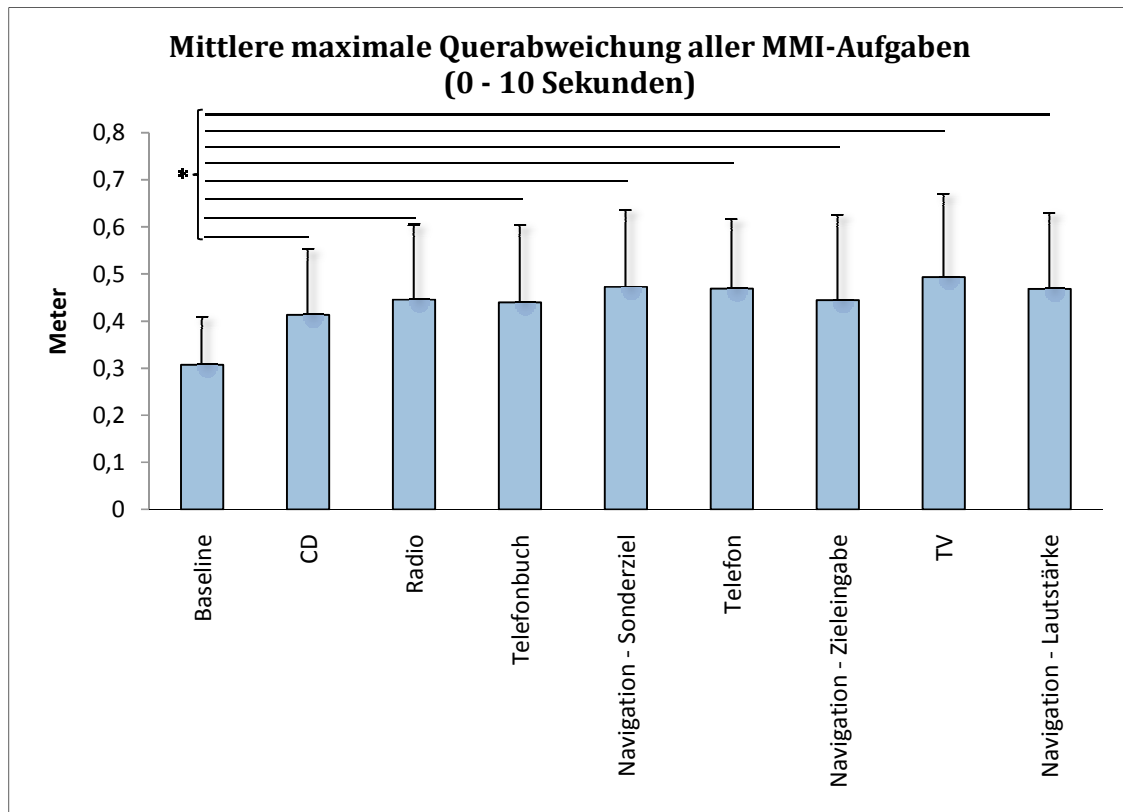


Abbildung 4.5: Mittlere maximale Querabweichungen von MMI-Aufgaben innerhalb der ersten 10 Sekunden

Die Analyse der ersten Sekunden der Fahrten ist im Zusammenhang mit einem weiteren Ergebnis interessant. Für die acht Spurverlassensereignisse wurde der Zeitpunkt des Spurverlassens extrahiert. Dabei zeigte sich, dass sich ein Spurverlassen fünf Sekunden nach Bedienstart ereignete. Zwei fanden sich zwischen zehn und zwanzig Sekunden, sowie vier weitere zwischen 20 und 40 Sekunden nach Bedienstart. Das letzte Spurverlassen ereignete sich nach 43 Sekunden. Auch wenn die Anzahl der Spurverlassensereignisse in dieser Studie sehr gering war, zeigen die Ergebnisse, dass auch kurze Beanspruchungen ablenkend sein können und zu einem Spurverlassen führen.



#### **4.2.1.3.     *Diskussion: Beanspruchung durch Bedientätigkeiten an einem Infotainment-System***

Ziel des Experiments war es, die unterschiedliche Ressourcennutzung beziehungsweise Beanspruchung durch Aufgaben an einem Infotainment-System zu erfassen. Dazu wurden typische Nebentätigkeiten an einem Infotainment-System durchgeführt und der Einfluss dieser Tätigkeiten auf die Querführung als Maß für die Beanspruchung des Fahrers untersucht. Dabei zeigte sich, dass alle Aufgaben einen Einfluss auf die Spurhaltung haben und somit als beanspruchend angesehen werden können. Die Höhe dieses Einflusses variierte zwischen den Aufgaben. Dies ist jedoch weniger auf die Art der Aufgaben, sondern vermutlich verstärkt auf die Dauer der Bedienung zurückzuführen. Somit ist für eine Erkennung der Beanspruchung des Fahrers nicht die konkrete Tätigkeit (zum Beispiel Navigationszieleingabe oder Radio-Bedienung) entscheidend, sondern vielmehr die Dauer der Bedienung. Weiter zeigte sich, dass bei allen Aufgaben schon innerhalb von zehn Sekunden Einflüsse auf die Spurhaltung festzustellen waren. Dabei können Fahrer innerhalb dieser zehn Sekunden ihre Ressourcen derart ungünstig verteilen (vgl. Abbildung 2.2), dass sie von der Straße abkommen, wie sich auch hier in einem Fall zeigte. Damit einhergehend kann von einer hohen Beanspruchung des Fahrers mit Beginn einer Bedienhandlung ausgegangen werden, wobei mit andauernder Beanspruchung die Wahrscheinlichkeit für ein Spurverlassen steigt.

Einschränkend ist festzuhalten, dass wie bei den anderen Schätzmethoden von interindividuellen Unterschieden hinsichtlich der Beanspruchung bei einer Infotainment-Bedienung auszugehen ist. Entsprechende Ergebnisse zeigten sich zum Beispiel hinsichtlich des Alters (Mourant, Tsai, Al-Shihabi und Jaeger 2000) beziehungsweise der Fahrerfahrung (Wikman et al. 1998; Green 2007). Die signifikanten Unterschiede in dieser Studie zeigen aber, dass Fahrer im Mittel durch alle Aufgaben beansprucht werden.

#### **4.2.2. Diskussion: Schätzung von Ablenkung über Bedientätigkeiten**

Die Schätzung einer Ablenkung aufgrund einer beliebigen Infotainment-Bedienung erscheint damit gut möglich. Findet sich eine Verkehrssituation, in der ein Eingriff des Fahrers in Längs- oder Querführung nötig ist (Anforderung aus der Verkehrssituation), und ist der Fahrer gleichzeitig durch eine manuelle Infotainment-Bedienung visuell und kognitiv beansprucht (Anforderungen aus der Nebentätigkeit), ist es naheliegend, dass nicht ausreichend Ressourcen für die sichere Bewältigung der Fahraufgabe bereit gestellt wurden beziehungsweise dass der Fahrer abgelenkt ist. Dabei zeigt die eigene Studie, dass dies auch schon zu Beginn der Bedientätigkeit der Fall sein kann.

Technisch gesehen ist die Berücksichtigung der Beanspruchung durch eine Infotainment-Bedienung leicht zu realisieren. Moderne Infotainment-Systeme verfügen über ein Bus-System (vgl. Reif 2009b), über das die Multimedia-Daten und Bedienhandlungen übertragen werden. Über ein Gateway ist auch eine Übertragung auf den CAN- oder Flexray-Bus und damit die Kommunikation mit Fahrerassistenzsystemen möglich. Der eigenen Studie nach würde ein einfaches digitales Signal über eine Bedienhandlung („Bedienung“ versus „Keine Bedienung“) ausreichen, das auf den relevanten Fahrzeug-Bus gesendet in Kombination mit der Erkennung kritischer Situationen in Längs- und Querführung zur Interpretation der Ablenkung eines Fahrers genutzt werden könnte.

Ein Problem besteht bei dieser Vorgehensweise jedoch: Es ist auszuschließen, dass der Beifahrer bedient. Eine Studie von Sacher (2009) zeigt, dass Fahrer überwiegend selbst das Infotainment-System bedienen, auch wenn ein Beifahrer zugegen ist. Im Zweifelsfall könnte über die Sitzbelegungserkennung eines Fahrzeugs detektiert werden, ob sich eine Person auf dem Beifahrersitz befindet.

Während sich die hier vorgestellten Aufgaben am Infotainment-System auf eine manuelle Bedienung per Dreh-Drücksteller sowie die Hard- und Softkeys bezogen, sind auch Sprachbedienungen und Telefonate an einem solchen System detektierbar, die

keine visuelle Komponente enthalten. Wie oben diskutiert ist nicht von einer Interferenz in Bezug auf die normale Querführung auszugehen. Aufgrund der oben vorgestellten Studien zu kognitiver Beanspruchung durch mentale Aufgaben und die damit verbundenen verlängerten Reaktionszeiten des Fahrers (vgl. Cooper et al. 2003; Recarte und Nunes 2003) kann aber bei einem Telefonat ebenfalls von einer partiellen Beanspruchung ausgegangen werden, aus der mit einem unerwarteten Ereignis auf eine Ablenkung geschlossen werden kann (vgl. Horrey und Wickens 2006).

Neben der Nutzung des Infotainment-Systems gibt es in Fahrzeugen noch eine ganze Reihe weiterer Bedienelemente, beispielsweise für Licht- oder Assistenzfunktionen (zum Beispiel adaptiver Tempomat). Letztendlich sind diese Bedienelemente im Einzelnen zu betrachten. Für viele dieser Stellteile ist nicht mit einer länger andauernden Blickabwendung zu rechnen (zum Beispiel „Licht einschalten“). Derartige Blickabwendungen werden in der Regel so kurz und singulär sein (vgl. Kapitel 3.1), dass es kaum zu einer Ablenkung kommen wird. Sollten sich in einem Fahrzeug jedoch Bedienelemente finden, deren Bedienung mehr als eine Blickabwendung erfordert, müssten nochmals Untersuchungen bezüglich der Beanspruchung dieser erfolgen.

## 5. Erfassung von Fahreraufmerksamkeit über Fahrzeugdaten

---

Die Initiierung einer Nebentätigkeit beim Autofahren geht mit einer Teilung der Aufmerksamkeitsressourcen zwischen der Fahraufgabe und der Tätigkeit einher. Wie im Kapitel 2.2 dieser Arbeit beschrieben, kann es dabei zu einem Zustand von Ablenkung kommen, bei der so viele Ressourcen von der Fahraufgabe abgezogen werden, dass deren sichere Ausführung gefährdet ist. Eine mögliche Folge einer verringerten Aufmerksamkeitszuweisung zur Fahraufgabe ist, dass sich das Fahrerverhalten ändert. Eine Vielzahl an Studien konnte solche Änderungen des Fahrerverhaltens aufgrund einer Aufmerksamkeitszuweisung zu Nebentätigkeiten zeigen. Dabei kann man in Effekte der Quer- und Längsführung trennen.

Zunächst zur Querführung: Durch eine Blickabwendung von der Straße kann nicht kontinuierlich eine Überwachung der Spurhaltung über Nah- und Fernpunkt erfolgen (vgl. Kapitel 3.1). Dies äußert sich in einer schlechteren Antizipation der Fahrzeugbewegung innerhalb der Fahrspur. Sichtbar wird dies anhand der Lenkbewegungen und an der Abweichung des Fahrzeugs von der Spurmitte. Dabei werden in diesbezüglichen Studien stets ähnliche Maße der Lenkbewegungen und Spurhaltung herangezogen. De Waard (1996) nennt die *Standardabweichung der Querabweichung* von der Spurmitte und die *minimale „time-to-line-crossing“* (TLC), die bei einer zusätzlichen Beanspruchung des Fahrers signifikant größer beziehungsweise kleiner werden. Wierwille et al. (1996) führen die *maximale Querabweichung* als validen Indikator für die Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers an. Da die Spurhaltung nur eine Folge der Lenktätigkeit der Fahrer ist, sind auch hier Unterschiede naheliegend. Ein Übersichtsartikel von MacDonald und Hoffmann (1980) zeigt den Zusammenhang zwischen der *„Steering Reversal Rate“*, also der Anzahl an Wechseln der Lenkbewegungsrichtung und den Anforderungen an den Fahrer. Johansson, Engström, Cherri, Nodari, Toffetti et al. (2004) nennen außerdem die *Standardabweichung des*

*Lenkradwinkels*, hohe *Frequenzkomponenten* im Lenkwinkelsignal und die *Standardabweichung der Lenkradwinkelgeschwindigkeit*.

Im Bereich der Längsführung findet sich ebenfalls ein unterschiedliches Verhalten beim Vergleich zwischen aufmerksamen und unaufmerksamen Fahrern. So ist zu erwarten, dass durch eine Ressourcenverteilung auf Fahr- und Nebenaufgabe Änderungen der Geschwindigkeit eines Vorfahrenden nicht so schnell wahrgenommen werden können. Dadurch zeigt sich ein deutlich variableres Abstandsverhalten. Johansson et al. (2004) nennen messbare Unterschiede in Bezug auf den *durchschnittlichen Abstand*, die *Standardabweichung des Abstandes* und den *minimalen Abstand*. Wierwille et al. (1996) führen Maße der Fahrpedalbewegungen wie die *Standardabweichung der Pedalposition* und die *Anzahl, wie oft das Fahrpedal losgelassen wird*, an. Eine Zusammenfassung über derartige Maße findet sich bei Engström, Johansson und Östlund (2005).

Alle diese Maße sind schon heute in Serienfahrzeugen erfassbar. Jedes moderne Fahrzeug verfügt über Lenkradwinkel- und Geschwindigkeitssensoren. In Fahrzeugen mit einem Spurhalteassistenzsystem und Abstandsregelsystem sind außerdem die genannten Querabweichungsmaße und die Abstände zu anderen Fahrzeugen berechenbar. Daher ist es naheliegend, den Fahrerzustand beziehungsweise die Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers direkt anhand solcher Größen zu schätzen.

So ökonomisch diese Idee auch erscheint, die aufgeführten Kennwerte können nicht direkt für eine Schätzung der Aufmerksamkeitsausrichtung in Echtzeit genutzt werden. Das Problem dabei ist, dass die Kennwerte zum größten Teil über einen längeren Zeitraum berechnet werden, um interpretiert werden zu können. Die Standardabweichung des Abstandes zu einem vorfahrenden Fahrzeug oder die maximale Querabweichung sind zwar durchaus geeignete Kennwerte, um post-hoc aufmerksames von unaufmerksamen Fahren in einem definierten Versuchssetting über einen vorgegebenen Zeitraum von zum Beispiel einer Minute zu unterscheiden. Bei einer Echtzeit-Schätzung der Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers kann jedoch keine post-hoc Analyse eingesetzt werden, sondern die Klassifikation muss innerhalb

weniger Sekunden erfolgen. Die Information, dass ein Fahrer innerhalb der letzten Minute mit einer Nebentätigkeit beschäftigt war, ist nicht mehr hilfreich. Dementsprechend müssen für eine Echtzeit-Erkennung Kriterien ausgewählt werden, die auch innerhalb weniger Sekunden eine Aussage hinsichtlich einer verringerten Ressourcenzuweisung zur Fahraufgabe erlauben.

Ein weiteres Problem der genannten Maße ist, dass diese zum Teil großen situationsbedingten Einflüssen unterliegen. So kann eine hohe Standardabweichung der Querabweichung beispielsweise innerhalb der letzten fünf Sekunden allein durch das „Schneiden einer Kurve“ entstehen, wobei der Fahrer in diesem Fall vermutlich sehr aufmerksam und nicht zusätzlich durch eine Nebentätigkeit beansprucht ist. Gleichzeitig eignen sich zum Beispiel die Maße der Abstandshaltung nur, wenn auch ein Fahrzeug vorausfährt. Auch streckenbedingte Einflüsse sind zu erwarten. So steht zum Beispiel die Straßenbreite in einem engen Zusammenhang mit der „time-to-line-crossing“. Damit ist offensichtlich, dass derartige Daten nur interpretiert werden können, wenn differenziert die Verkehrssituation und mögliche Intentionen des Fahrers berücksichtigt werden.

Im Hinblick auf die hohe Dynamik im Straßenverkehr und die damit verbundene Variabilität von Verkehrssituationen stellt sich die Frage, inwieweit eine Erkennung der Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers über Fahrzeugdaten in Echtzeit möglich ist. Es existieren wenige Studien, in denen dies untersucht wurde. Diese werden im Kapitel 5.1 vorgestellt. In Kapitel 5.2 wird eine eigene Studie zu diesem Thema beschrieben, mit Hilfe derer das Potential dieses Ansatzes näher untersucht wird. Eine abschließende Diskussion der Möglichkeit, über Fahrzeugdaten auf eine Ablenkung des Fahrers zu schließen, erfolgt in Kapitel 5.3.

### **5.1. Forschungsstand**

Die Idee, die Fahreraufmerksamkeit anhand von Fahrzeugdaten in Echtzeit zu schätzen, findet sich in wenigen Quellen. Dabei existieren zum Teil Beschreibungen von Versuchsfahrzeugen, die für derartige Untersuchungen aufgebaut wurden, ohne dass dort konkrete Algorithmen oder deren Evaluierung beschrieben werden (McCall und

Trivedi 2004; Pompei, Sharon, Buckley und Kemp 2002). Auch Folgepublikationen sind nicht zu finden, so dass zu vermuten bleibt, dass diese Ansätze ergebnislos blieben.

Ein teilweise theoriegeleiteter Ansatz zur Erkennung der Fahreraufmerksamkeitsausrichtung über Fahrzeugdaten findet sich bei Deram (2004). In dieser Studie sollten kurze Phasen mit Nebentätigkeiten (zum Beispiel die Bedienung des Radios) bei Fahrten in einem LKW erkannt werden. Vielversprechend erschien dabei die Nutzung des „Ellipse Criteria“, ein auf King, Mumford und Siegmund (1998, zitiert nach Deram 2004) basierender Kennwert, der Unaufmerksamkeit über die Kombination von Lenkwinkel und Lenkwinkelgeschwindigkeit erfassen soll. Dieses Kriterium wurde mit zwei weiteren Kennwerten (die Quergeschwindigkeit des Fahrzeugs und einem Kennwert, der Phasen ohne Lenkbewegungen erfasst) zu einem Algorithmus kombiniert. Es erfolgte zwar eine Evaluierung des aufgestellten Algorithmus, aufgrund derer die Autorin die Brauchbarkeit des Ellipse Criteria hervorhebt, die Ergebnisse müssen aber mit Vorsicht interpretiert werden. Denn zum einen wurden nur von vier Versuchspersonen Daten erhoben und bei der Evaluierung berücksichtigt. Zum anderen muss das Versuchssetting aufgrund einer fehlenden Standardisierung und in Bezug auf den Versuchsablauf und die Versuchsstrecke als ungünstig angesehen werden.

Die Vorgehensweise der Entwicklung des Algorithmus bei Deram (2004) ist theoretischer Natur. Basierend auf Studien, die eine Sensitivität einzelner Kennwerte hinsichtlich der Aufmerksamkeitsverteilung des Fahrers nahelegten, kombinierte sie diese nach logischen Gesichtspunkten. Dieses theoretische Vorgehen ist insofern zu hinterfragen, da gerade die oben beschriebene Komplexität von Verkehrssituationen und deren Einfluss auf die Fahrzeugbedienung seitens des Fahrers nicht klar durch theoretische Modelle abbildbar sind. Zwar existieren Modelle beispielsweise zur Beschreibung der Querführung eines Fahrers im Rahmen der ACT-R Architektur (zum Beispiel Salvucci und Gray 2004), jedoch kann auch darüber keine Vorhersage einer konkreten Lenkbewegung des Fahrers, sondern nur ein Muster über einen definierten Zeitabschnitt vorhergesagt werden. Um dieser Komplexität zu begegnen, wurden in

einigen Studien Algorithmen „automatisch“ mit Hilfe maschinellen Lernens entwickelt (Bekiaris 1999; Torkkola, Massey und Wood 2004; Lee et al. 2007a). Auch ohne theoretische Annahmen und Wissen ist es mit Hilfe von maschinellern Lernen möglich, Zusammenhänge aus komplexen und für den Menschen unüberschaubaren Datensätzen zu extrahieren. Dabei existiert eine große Anzahl an Techniken beziehungsweise Algorithmen, auf deren Funktionsweise hier nicht näher eingegangen werden kann. Eine allgemeine Einführung in maschinelles Lernen findet man zum Beispiel in Witten und Frank (2005).

Im Projekt SAVE (*System for effective Assessment of the driver state and Vehicle control in Emergency situations*) wurde neben einer Einschätzung des Müdigkeitsgrades und einer allgemeinen Fahruntfähigkeit (beispielsweise aufgrund akuter medizinischer Probleme) ebenfalls eine Fahrerzustandserkennung hinsichtlich Ablenkung entwickelt (Bekiaris 1999). Dabei nutzte die „Integrated Monitoring Unit“ neben Griffkraftsensoren und Augenbewegungen auch Spurhaltezeiten, Geschwindigkeit und Lenkbewegungen sowie die Pedalaktivität. Die Kombination der Variablen erfolgte über *Fuzzy-Logic* beziehungsweise *Neuronale Netze*. Der Veröffentlichung ist zwar zu entnehmen, dass Wirksamkeitsstudien im Fahrsimulator stattgefunden haben, deren Ergebnisse vielversprechend waren. Genauere Angaben hinsichtlich der Aussagekraft einzelner Parameter und der tatsächlichen Leistungsfähigkeit des Algorithmus sind dort jedoch nicht zu finden.

Torkkola et al. (2004) führten eine Studie durch, die ebenfalls darauf ausgerichtet war, einen Echtzeit-Algorithmus zur Fahreraufmerksamkeitsschätzung basierend auf Fahrzeugdaten aufzustellen. Zehn Versuchspersonen fuhren dabei im Fahrsimulator und wurden, um Ablenkung zu erzeugen, aufgefordert, in den toten Winkel des Fahrzeugs zu schauen. Als Eingangsgrößen für den Algorithmus wurden der Lenkradwinkel, die Position des Fahrpedals, der Abstand zur Spurmarkierung, die Quergeschwindigkeit relativ zur Straße, die Änderungsrate der Quergeschwindigkeit relativ zur Straße, der „Lenkfehler“ (Differenz des Lenkradwinkels zum optimalen Lenkradwinkel, der für eine



Fahrt in der Mitte der Spur notwendig wäre) und die Kurvigkeit der Straße gewählt. Für diese einzelnen Variablen wurden verschiedene Kennwerte wie ein gleitender Mittelwert oder eine gleitende Varianz über unterschiedliche Zeiträume berechnet. Darauf aufbauend wurde dann der Algorithmus entwickelt, der an den vorliegenden Daten 78 % der unaufmerksamen Phasen, sowie 98,4 % der aufmerksamen Phasen richtig klassifizierte. Unter den wichtigsten Kennwerten finden sich Derivate des Abstands zur Spurmarkierung, der Quergeschwindigkeit, der Lenkradbewegungen und auch des Fahrpedals. Zwar stimmen die Ergebnisse zunächst recht zuversichtlich, den Aufmerksamkeitsgrad des Fahrers so erkennen zu können. Jedoch muss einschränkend festgehalten werden, dass keinerlei Validierung der Daten an einem unabhängigen Datensatz stattgefunden hat. Soweit ersichtlich wurde der Algorithmus an den Daten erprobt, an denen er auch entwickelt wurde. Damit ist automatisch eine hohe Klassifikationsgüte zu erwarten. Dieses Vorgehen ermöglicht somit keine zuverlässige Aussage über die Nutzbarkeit einzelner Variablen oder hinsichtlich einer globalen Klassifikationsgüte des Algorithmus.

In Kapitel 3.2 wurde schon die Forschung im Rahmen des SAVE-IT Projekts angesprochen, dessen Ziel in einer Online-Fahreraufmerksamkeitsschätzung zur adaptiven Gestaltung von Fahrerassistenzsystemen bestand. Lee et al. (2007a) nutzten Support-Vector-Machines und Bayes-Netze sowie Kombinationen dieser Methoden zur Prädiktion der Fahreraufmerksamkeit. Attribute waren dabei neben Blickbewegungsdaten drei Fahrzeug-Kennwerte: die Standardabweichung der Spurposition, die Standardabweichung des Lenkradwinkels und der Spurhaltefehler. Diese Kennwerte wurden über vier verschiedene Zeitfenster (5 bis 40 Sekunden) berechnet. Als Nebentätigkeit diente eine Bedienung des Infotainment-Systems während einer Fahrt im Fahrsimulator. Gleichzeitig wurden in der Studie auch Daten bei aufmerksamer Fahrt erhoben. Zur Vorhersage der Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers mit Hilfe der Support-Vector-Machines wurden die Fahrzeug- und Spurdaten in Kombination mit sowie ohne die Blickbewegungsdaten verwendet. Dabei wurde nur ein

Teil der Daten zum Training genutzt, während der Rest der Daten zur Validierung herangezogen wurde. Es zeigte sich, dass durch die zusätzliche Nutzung der Fahrzeug- und Fahrspurdaten eine Genauigkeit von 83,2 % erreicht werden konnte<sup>3</sup>. Die Genauigkeit einer Prädiktion nur über die Fahrzeugdaten erwies sich mit 54,4 % als schlecht. Bei der Vorhersage über Bayes-Netze konnte den Fahrzeugdaten ebenfalls nur ein geringer Informationswert entnommen werden.

Die wenigen Studien zeigen somit kein klares Bild hinsichtlich der Möglichkeiten, die Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers in Echtzeit mit Hilfe von Fahrzeugdaten zu erkennen. Verschiedene Faktoren schränken die Aussagekraft der gefundenen Ergebnisse ein. Zwar erscheint die Klassifikationsgüte in der Studie von Torkkola et al. (2004) hoch, jedoch fehlte hier eine Validierung des Algorithmus an „ungelernten“ Daten. Auch Deram (2004) berichtet von vielversprechenden Ergebnissen, jedoch ist hier das Versuchssetting durch die geringe Anzahl an Versuchspersonen und die fehlende Standardisierung bei der Datenerhebung als fraglich anzusehen. Die Resultate von Lee et al. (2007a) zeichnen zunächst ein negatives Bild. Jedoch muss einschränkend festgehalten werden, dass in dieser Studie nur drei Fahrzeug-Kennwerte berücksichtigt wurden, was bei der Komplexität von Verkehrssituationen sicherlich zu wenig ist.

Da der bisherige Kenntnisstand bezüglich des Potentials einer Aufmerksamkeitserkennung über Fahrzeugdaten somit unzureichend ist, musste eine eigene Untersuchung durchgeführt werden. In dieser wurden gezielt ein passendes Versuchsdesign, eine differenzierte Auswahl von Kennwerten und eine entsprechend angemessene Evaluation der Algorithmen getroffen, um die beschriebenen Schwachpunkte der bisherigen Studien zu vermeiden. Die eigene Studie wird im folgenden Abschnitt näher beschrieben.

---

<sup>3</sup> Die Vorhersage allein über Blickbewegungsdaten erbrachte allerdings, wie in Kapitel 3.2 beschrieben, allein schon eine Genauigkeit von 81,4 %.

## **5.2. Fahreraufmerksamkeitserfassung über CAN-Bus Daten (Studie 3)**

Ziel der Studie war es, einen Echtzeit-Algorithmus aufzustellen, der die Aufmerksamkeitsverteilung des Fahrers aufgrund von schon heute in Fahrzeugen verfügbaren Sensoren erkennen kann. Dabei stand eine ökonomische Abschätzung der prinzipiellen Machbarkeit und weniger die Entwicklung eines Algorithmus mit maximaler Vorhersagegüte im Vordergrund.

Die genutzten Daten stammten aus einem realen Fahrversuch (vgl. Kapitel 5.2.1). Ein C4.5 Algorithmus (Quinlan 1993) wurde zur Vorhersage gewählt, da damit ein effektives maschinelles Lernen realisiert werden kann, die Funktionsweise des Algorithmus aber trotzdem transparent bleibt (Kapitel 5.2.2). Die Datenaufbereitung für den Algorithmus wird im Kapitel 5.2.3 beschrieben. Abschließend erfolgt eine Darstellung und Diskussion der Ergebnisse (Kapitel 5.2.4).

### **5.2.1. Datensatz**

Um einen hohen Grad an externer Validität zu gewährleisten, ist es sinnvoll, nicht auf eine Fahrsimulation, sondern auf Sensordaten aus dem realen Verkehr zurückzugreifen. Dieses Vorgehen berücksichtigt auch die Einschränkungen durch eine nicht-perfekte Signalqualität, die im realen Verkehr durch ein Rauschen von Sensoren oder durch unzureichende Sensorleistungsfähigkeit, zum Beispiel bei schlechten Spurmarkierungen, zu finden ist.

Neben dem realistischen Versuchsetting ist es notwendig, Daten von einer ausreichend großen Zahl an Versuchspersonen zu berücksichtigen. Zum einen können dadurch die Einflüsse individueller Verhaltensweisen minimiert werden. Zum anderen ist es nur durch eine entsprechend große Stichprobe möglich, eine angemessene Validierung des Algorithmus zu gewährleisten.

Für dieses Vorgehen wurden die Daten des Experiments genutzt, das in Kapitel 4.2.1 dargestellt wurde. In dieser Studie befuhren 30 Versuchspersonen zehnmal den gleichen Landstraßenabschnitt, wobei sie achtmal durch eine Nebentätigkeit am MMI des

Fahrzeugs abgelenkt waren und zweimal aufmerksam fuhren. Die ausgewählten Aufgaben entsprachen typischen Nebentätigkeiten am MMI, so dass auch diesbezüglich ein hoher Realismusgrad erreicht wurde. Während der Messfahrten wurde der komplette Verkehr auf dem Extended-CAN des Versuchsfahrzeugs erfasst. Darin fanden sich die Signale der Pedale, des Lenkradwinkels, der Eigengeschwindigkeit und Informationen über die Spurposition des Fahrzeugs aus dem verbauten LDW-System, so dass die wesentlichen Bedienhandlungen des Fahrers relativ zur Fahrspur erfasst werden konnten.

### 5.2.2. Algorithmus

Die bislang durchgeführten Studien erbrachten keine eindeutige Aussage dahingehend, über welche Sensordaten beziehungsweise Attribute und mit Hilfe welcher Algorithmen eine Vorhersage der Aufmerksamkeitsausrichtung eines Fahrers möglich ist. Es existieren Anhaltspunkte für sensitive Maße, jedoch basieren diese nicht auf einem Fahrermodell, über das theoriegeleitet eine Auswahl der Attribute und die Entwicklung eines Algorithmus erfolgen können. Aufgrund des Fehlens eines theoretischen Modells wurde auch hier maschinelles Lernen genutzt. Um dabei einen möglichst großen Wissensgewinn zu erzielen, wurde ein Ansatz mittels des C4.5-Algorithmus (Quinlan 1993) gewählt. Dieser Algorithmus weist verschiedene Vorteile auf. Vorrangig ist er relativ robust und hat in vielen Bereichen eine hohe Leistungsfähigkeit gezeigt (vgl. Witten und Frank 2005). Dies liegt unter anderem daran, dass im Rahmen des maschinellen Lernens direkt eine Variablenauswahl stattfindet und unnütze Variablen ausgeschlossen werden. Der so entwickelte Algorithmus hat den weiteren Vorteil, dass er als Entscheidungsbaum dargestellt werden kann. Im Gegensatz zu zum Beispiel *Neuronalen Netzen*, bei denen die Gewichtung der einzelnen Variablen nicht nachvollziehbar ist, ist im Entscheidungsbaum direkt ablesbar, welche Attribute zur Klassifikation genutzt werden und wie die Zuordnung erfolgt. Damit lässt sich bei überschaubaren Bäumen teilweise eine theoretische Ableitung hinsichtlich der Aussagekraft einzelner Variablen treffen.

Die Funktionsweise des C4.5 soll zum besseren Verständnis kurz dargestellt werden. Ausführlichere Beschreibungen finden sich bei Quinlan (1993).

Das grundsätzliche Ziel besteht darin, Zusammenhänge zwischen den Attributen und einem Zielkriterium zu finden, so dass eine Vorhersage des Zielkriteriums möglich wird. Dabei kann man sich den Algorithmus wie einen Baum vorstellen. Die Blätter stellen die jeweilige zu treffende Klassifikation dar (zum Beispiel „aufmerksam“ oder „abgelenkt“). Jedes dieser Blätter hängt an einem Ast. Dieser Ast beinhaltet einen Wertebereich des Kennwertes (zum Beispiel hohe Standardabweichung der Querabweichung). Der Kennwert selbst stellt die Astgabeln dar, von der sich entsprechend viele Äste je nach Anzahl der Wertebereiche verzweigen. Diese Astgabel ist wiederum das Ende eines größeren Astes, der aus einem anderen Kennwert entspringt. Dies setzt sich bis zum Stamm des Baumes fort. Ein Beispiel für einen Entscheidungsbaum, der über vier Kennwerte (Gewicht, Beine, Länge, Breite) in sieben Klassen (A-G) einteilt, findet sich in Abbildung 5.1.

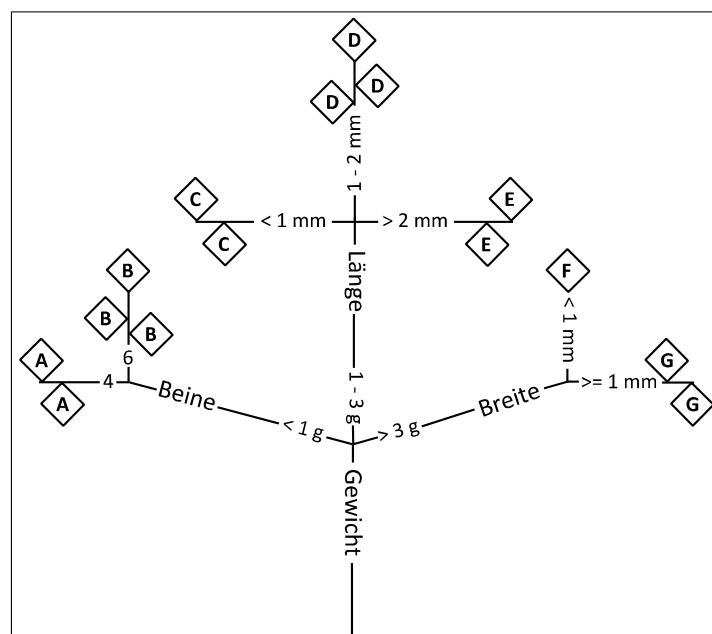


Abbildung 5.1: Beispiel für einen Entscheidungsbaum

Grundsätzlich muss entschieden werden, welcher Kennwert zuerst (am Stamm) verwendet wird beziehungsweise welcher am brauchbarsten für eine Trennung hinsichtlich des Zielkriteriums ist. Im Rahmen des C4.5 Algorithmus wird diese Brauchbarkeit als Information bezeichnet. Für jeden einzelnen Kennwert wird dabei berechnet, wie viel Information er zur Trennung des Zielkriteriums enthält. Dies geschieht über die „*information gain*“ oder die „*information ratio*“, deren Berechnung zum Beispiel bei Witten und Frank (2005) dargestellt ist. Der Kennwert mit dem größten Informationsgehalt wird gewählt und als erste Astgabel mit seinen entsprechenden Ästen aufgestellt. An diesen Ästen erfolgt eine erneute Berechnung des Informationsgehalts der übrigen Kennwerte, bis abschließend alle Fälle dem Zielkriterium zugeordnet werden können und in Blättern enden.

Da bei diesem Vorgehen leicht sehr komplexe und stark auf die Daten ausgerichtete Bäume entstehen, erfolgt ein zusätzliches „Beschneiden“ beziehungsweise ein „pruning“ des Entscheidungsbaums, nachdem er aufgestellt wurde („postpruning“). Dabei wird im C4.5 Algorithmus der entstehende Klassifikationsfehler berechnet, wenn eine Astgabel ausgelassen wird. Dieser wird dann mit dem Klassifikationsfehler beim Beibehalten der Astgabel ins Verhältnis gesetzt. Basierend auf diesem Verhältnis wird über das „pruning“ entschieden.

Das Resultat ist ein Entscheidungsbaum, über den aufgrund einer Auswahl an Kennwerten und der Bildung von Wertebereichen innerhalb dieser Kennwerte eine Vorhersage hinsichtlich des Zielkriteriums möglich ist.

### **5.2.3. Datenaufbereitung**

Wie in der Einleitung beschrieben existiert eine ganze Reihe an Maßen, die post-hoc eine Aussage hinsichtlich der Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers erlauben. Diese Maße werden über eine definierte Strecke berechnet und mit einer Baseline-Fahrt verglichen, während der der Fahrer die gleiche Strecke aufmerksam fuhr.

Für eine Echtzeit-Erkennung der Aufmerksamkeitsausrichtung wird jedoch eine Aussage benötigt, ohne dass dabei eine Baseline zur Verfügung steht. Problematisch ist des

Weiteren, dass eine Verlagerung der Aufmerksamkeitsressourcen von der Fahraufgabe auf eine Nebentätigkeit in Sekundenbruchteilen geschehen kann. Dementsprechend müssen beziehungsweise können nur Daten eines kurzen Zeitraums berücksichtigt werden. Dabei kann nicht theoriegeleitet die Dauer eines optimalen Zeitfensters zur Betrachtung von Fahrzeugdaten abgeleitet werden. Einerseits wäre eine schnelle Erkennung wünschenswert. In kurzen Zeitfenstern ist aber zwangsläufig weniger Information bezüglich der Aufmerksamkeitsverteilung enthalten. Andererseits darf das Zeitfenster nicht zu lang sein, da sonst eine Nebentätigkeit zu lang andauern muss, um erkannt zu werden. Im Rahmen dieser Studie wurden daher zwei Zeitfenster mit einer Dauer von einer beziehungsweise fünf Sekunden genutzt.

Auch wenn der C4.5 Algorithmus über das „*information gain*“-Kriterium eine Auswahl der Attribute trifft, muss vorab eine Auswahl an Kennwerten erfolgen, die dem Algorithmus vorgegeben werden. Denn dieser ist zwar in der Lage, die vorliegenden Kennwerte zu kombinieren, er kann jedoch keine unbekannten Größen (zum Beispiel einen gleitenden Mittelwert) aus einem Signal extrahieren. Hierbei stellt sich die Frage, inwieweit spezifische Kennwerte für ein Sensordatum berechnet werden (zum Beispiel die Standardabweichung innerhalb des Zeitraums). Die Auswahl der Sensordaten und der darüber berechneten Kennwerte beruhte auf den in den oben aufgeführten Studien berichteten Maßen. Dabei wurden Standardkennwerte wie Mittelwerte, Standardabweichungen, Maxima und Ähnliches berechnet. Diese wurden erweitert oder angepasst, soweit sich aus theoretischen Ableitungen eine Aussagekraft zusätzlicher Kennwerte erwarten ließ. So wurde beispielsweise das bei Deram (2004) genannte Ellipse Criterion berücksichtigt, aber um das Maximum und die Summe der absoluten Werte ergänzt.

Da in den vorliegenden Daten kein vorausfahrendes Fahrzeug zu finden war und dies auch während alltäglicher Fahrten nicht immer zugegen ist, wurde auf diesbezügliche Abstandsmaße verzichtet.

Folgende Sensordaten und Kennwerte wurden ausgewählt und berechnet:

- Lenkradwinkel: Standardabweichung, Range
- Lenkradwinkelgeschwindigkeit: Mittelwert, Mittelwert der absoluten Werte, Standardabweichung, Maximum der absoluten Werte, Range, Summe der absoluten Werte
- Lenkradwinkelbeschleunigung: Mittelwert, Mittelwert der absoluten Werte, Standardabweichung, Maximum der absoluten Werte, Range, Summe der absoluten Werte
- Stand-Still Kriterium: Dauer Lenkradwinkelgeschwindigkeit < 2 Grad
- Ellipse-Criterion: Anzahl Werte > 80, Anzahl Werte > 140, Anzahl Werte > 210, Maximum der absoluten Werte, Summe der absoluten Werte
- Steering-Entropy
- Fahrpedalwert: Standardabweichung, Range
- Eigengeschwindigkeit: Mittelwert, Range
- Querabweichung: Mittelwert, Standardabweichung, Range, Maximum der absoluten Werte, Steigung (lineare Regression)
- Quergeschwindigkeit: Mittelwert, Standardabweichung, Range, Maximum der absoluten Werte, Steigung (lineare Regression)
- Querbeschleunigung: Mittelwert, Standardabweichung, Range, Maximum der absoluten Werte, Steigung (lineare Regression)
- Gierwinkelfehler: Mittelwert, Standardabweichung, Range, Maximum der absoluten Werte, Steigung (lineare Regression), Mittelwert der absoluten Werte, Summe der absoluten Werte

Die Daten für den C4.5 Algorithmus müssen in Instanzen vorliegen. Das heißt, die beobachteten Sensordaten werden nicht kontinuierlich eingelesen, sondern müssen als diskrete Datensätze vorgegeben werden. Eine Instanz beinhaltet neben den berechneten Kennwerten zunächst ein „Label“, das in diesem Fall die Zuordnung „aufmerksam“ oder „unaufmerksam“ enthält und das vorhergesagt werden soll. Die



Fahrten, bei denen das MMI bedient wurde, wurden als „unaufmerksam“ gelabelt, die Baselinefahrten als „aufmerksam“. Die einzelnen Fahrten wurden in Zeitfenster mit einer Länge von fünf Sekunden eingeteilt, die sich nicht überlappten. Das heißt, die Daten einer kurzen Aufgabe, die beispielsweise fünfzehn Sekunden gedauert hatte, wurde in drei Zeitfenster zerlegt. Für die Sensordaten innerhalb dieser Zeitfenster wurden die entsprechenden Kennwerte einmal für die gesamten fünf Sekunden und einmal für die letzte Sekunde berechnet. Die Daten eines Zeitfensters wurden mit dem entsprechenden Label kombiniert und zu einer Instanz zusammengefasst. Die Instanzen einer Versuchsperson wurden dann zusätzlich standardisiert.

Um die Leistungsfähigkeit eines Algorithmus überprüfen zu können, ist es notwendig, ihn an „fremden“ Daten zu validieren, also an einem Datensatz, der für seine Entwicklung nicht genutzt wurde. Zu diesem Zweck wurden die Versuchspersonen per Zufall in zwei Gruppen eingeteilt und deren Daten zu zwei Datensätzen zusammengestellt. Der erste Datensatz bestand aus 657 Instanzen, der zweite aus 669. Im Rahmen einer Kreuzvalidierung wurde an beiden Datensätzen ein Entscheidungsbaum entwickelt und jeweils am anderen Datensatz hinsichtlich seiner Zuverlässigkeit überprüft. Die Durchführung wurde über die Open-Source Software Weka (‘Waikato Environment for Knowledge Analysis’) realisiert, in der der C4.5 Algorithmus implementiert ist. Eine Einführung in diese Software findet sich bei Witten und Frank (2005).

#### **5.2.4. Ergebnisse**

Ein anschauliches Kriterium für die Güte der Vorhersage sind die richtig und falsch klassifizierten Instanzen. Die Tabelle 5 zeigt die prozentualen Anteile der falschen und richtigen Klassifikationen, gemittelt über beide Datensätze. Weitere Kennwerte sind im Anhang A1 zu finden.

Tabelle 5: Mittlere Anteile falscher und richtiger Klassifikationen der Kreuzvalidierung der C4.5 Algorithmen

Gemittelter prozentualer Anteil	
<b>Richtig klassifizierte Instanzen</b>	<b>77.4 %</b>
Richtig Positive Aufmerksam	84.4 %
Richtig Positive Abgelenkt	64.3 %
<b>Falsch klassifizierte Instanzen</b>	<b>22.6 %</b>
Falsch Positive Aufmerksam	35.7 %
Falsch Positive Abgelenkt	15.6 %

Bei Betrachtung der Klassifikationen scheint eine Echtzeit-Schätzung der Aufmerksamkeitszuweisung des Fahrers basierend auf schon heute in Serienfahrzeugen verfügbaren Daten teilweise möglich. Die Kreuzvalidierung zeigt, dass 84,4 % der Situationen, in denen die Fahrer aufmerksam waren, auch als aufmerksam klassifiziert wurden. Eine ebenfalls richtige Vorhersage findet sich in 64,3 % der Situationen, in denen die Fahrer mit den Nebentätigkeiten beschäftigt waren. Auf der anderen Seite wurden die Fahrer in 15,6 % der Fälle irrtümlicherweise als unaufmerksam klassifiziert, obwohl sie aufmerksam fuhren. In 35,7 % der Fälle, in denen die Fahrer mit der Nebentätigkeit beschäftigt waren, wurden sie nicht als unaufmerksam erkannt.

Die entstandenen Entscheidungsbäume sind im Anhang A1 dargestellt. In beiden Bäumen finden sich vorrangig Daten des Lenkradwinkels (Steering-Entropy, absoluter Lenkradwinkel, Lenkwinkelgeschwindigkeit und –beschleunigung) und der Querabweichung (absolute Querabweichung, Quergeschwindigkeit und Querbeschleunigung). Im Hinblick auf die Zeitfenster wurden überwiegend Kennwerte berücksichtigt, die über ein Fünf-Sekunden-Fenster berechnet wurden.

### 5.2.5. Diskussion

Die im eigenen Experiment gefundene Klassifikationsgüte muss als ein erster Anhaltspunkt für die prinzipielle Machbarkeit einer Schätzung der Aufmerksamkeitsabwendung vom Fahrgeschehen über Fahrzeugdaten angesehen werden. Im Gegensatz zu den bisherigen Studien wurden hier im realen Straßenverkehr Daten von einer ausreichend großen Stichprobe erhoben. Dabei war die Strecke standardisiert und eine klare Trennung zwischen aufmerksamen und unaufmerksamen Fahrten möglich. In Anlehnung an die Literatur wurde eine Vielzahl an Kennwerten berücksichtigt, die für eine Aufmerksamkeitsabwendung von der Fahraufgabe sensitiv sein sollen. Die aufgestellten C4.5 Algorithmen wurden abschließend an unabhängigen Datensätzen validiert.

Ausgehend von der gefundenen Klassifikationsgüte scheint eine Vorhersage der Aufmerksamkeitsabwendung des Fahrers vom Fahrgeschehen somit teilweise möglich zu sein. Die Ergebnisse können jedoch nur als Annäherung an die Leistungsfähigkeit angesehen werden und spiegeln nicht deren absolute Höhe wider. Denn einschränkend ist festzuhalten, dass nur Fahrten auf einer breiten Landstraße durchgeführt wurden. Inwieweit Fahrzeugdaten aus anderen komplexeren Verkehrssituationen ebenfalls eine Vorhersage ermöglichen oder erschweren, kann hier nicht bestimmt werden. Aufgrund des angesprochenen Einflusses von Situationsbedingungen auf das Verhalten des Fahrers (vgl. Kapitel 2.2.2.1) wird es vermutlich notwendig sein, zusätzlich Aspekte der Verkehrssituation bei einer solchen Vorhersage zu berücksichtigen. Über moderne Navigationssysteme sind schon heute viele Streckeninformationen wie der Straßentyp, die Anzahl der Spuren und die zulässige Höchstgeschwindigkeit im Fahrzeug verfügbar, die als Moderatoren berücksichtigt werden könnten. Über die im Fahrzeug verbaute Sensorik lassen sich teilweise weitere Situationsaspekte wie zum Beispiel die Straßenbreite und die Kurvigkeit oder die Verkehrsdichte erfassen (vgl. Knake-Langhorst, Schießl und Baumann 2009). In diesem Bereich bedarf es weiterer Studien, um die Einflüsse der Verkehrssituation bei der Vorhersage einer Fahrerablenkung näher zu untersuchen beziehungsweise zu berücksichtigen.

Unabhängig von der Situation ist eine Steigerung der Vorhersagegenauigkeit der Aufmerksamkeitsabwendung von der Fahrsituation durch eine bessere Auswahl an Kennwerten und andere Algorithmen zu erwarten. Die Auswahl der Kennwerte erfolgte hier gestützt über Angaben in der Literatur und aus eigenen theoretischen Ableitungen. Es sind eine Reihe weiterer Maße, wie zum Beispiel Kennwerte einer Spektralanalyse des Lenkradwinkelsignals oder Maße des Abstandsverhaltens zu einem Vorfahrenden denkbar, die weitere Aussagekraft haben könnten und hier noch nicht berücksichtigt wurden.

An dieser Stelle wurde ein C4.5 Algorithmus ausgewählt, weil dieser bekanntermaßen stabile Vorhersagen liefert und gleichzeitig über den Entscheidungsbaum Einblick in die Klassifikation selbst erlaubt. „Random Forrest“- Ansätze oder Verfahren wie *Support Vector Machines* sind nicht derart transparent, haben aber eine hohe Leistungsfähigkeit und könnten auch bei diesem Problem noch bessere Vorhersagen liefern.

Zusammenfassend kann damit festgehalten werden, dass es zumindest teilweise möglich zu sein scheint, Aufmerksamkeitsabwendung des Fahrers von der Fahrsituation über Fahrzeugdaten erkennen zu können.

### **5.3. Diskussion: Ablenkungserkennung über Fahrzeugdaten**

Die Schätzung der Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers über Fahrzeugdaten birgt ein wesentliches Problem. Die Auswirkungen einer Aufmerksamkeitsreduktion auf Seiten der Fahraufgabe auf das Fahrerverhalten sind keine notwendige Folge. Schon zuvor wurden Studien zitiert, bei denen sich kein Einfluss der Nebentätigkeit auf die Querführung zeigte, die Fahrer aber verzögert auf Geschehnisse im Längsverkehr reagierten (vgl. Horrey und Wickens 2006). Trotz einer Ressourcenteilung wäre diese Situation über den hier entwickelten Algorithmus, der stark auf Querführungsmaße setzt, vermutlich nicht erkennbar. Es ist auch nicht zwangsläufig davon auszugehen, dass sich eine Nebentätigkeit, die Blickabwendungen beinhaltet, im Fahrerverhalten widerspiegelt. Gerade in Situationen, in denen auch ohne Lenkaktivität des Fahrers ein Geradeauslaufverhalten des Fahrzeugs zu finden ist, ist denkbar, dass sich die

Nebentätigkeit nicht in Lenkbewegungen und der Querabweichung zeigt. Die Verhaltensweisen des Fahrers können damit ein Indiz dafür sein, dass dieser viele Ressourcen von der Fahraufgabe abgezogen hat. Diese Einflüsse müssen aber nicht auftreten. Somit sind Fahrzeugdaten nur ein indirektes Maß einer Ressourcenteilung.

Eine weitere Einschränkung bezüglich der Erkennbarkeit ist durch den Zeithorizont gegeben. Der in der eigenen Studie aufgestellte Algorithmus nutzt überwiegend Daten eines Fünf-Sekunden-Zeitraums. Damit einhergehend ist nicht zu erwarten, dass eine Nebentätigkeit direkt mit ihrer Initiierung erkannt wird. Über eine Überwachung der Fahrzeugdaten wird es damit auch nicht möglich sein, sehr kurze Aufmerksamkeitsabwendungen zu erkennen, da sich hier keinerlei Effekte im Bereich der Lenkung und der Querführung entwickeln können.

Auch wenn über diese Methode vermutlich nur wenige Nebentätigkeiten erkannt werden können und die Erkennung dieser möglicherweise einige Sekunden benötigt, muss bedacht werden, dass die hier diskutierte Schätzung der Aufmerksamkeitsabwendung von der Fahraufgabe schon heute in aktuellen Serienfahrzeugen durchgeführt werden könnte. Wie bei den zuvor dargestellten Methoden gilt jedoch auch hier, dass der Hinweis auf einen Abzug von Aufmerksamkeitsressourcen auf Seiten der Fahraufgabe noch kein alleiniges Indiz für Ablenkung und somit einen Unterstützungsbedarf seitens des Fahrers ist. Denn der Fahrer kann trotz dessen noch in der Lage sein, das Fahrzeug sicher zu führen. Daher ist es auch hier notwendig, zusätzlich eine anfordernde Verkehrssituation zu erkennen, um sicherstellen zu können, dass der Fahrer zu wenige Ressourcen für die Fahraufgabe bereit gestellt hat und tatsächlich abgelenkt ist. Prinzipiell erscheint die Erkennung eines Ressourcenabzugs auf Seiten der Fahraufgabe über die Analyse der Fahrzeugdaten damit aber teilweise möglich zu sein.

## 6. Zusammenfassung und Diskussion: Ablenkungserkennung im Fahrzeug

---

Moderne Fahrerassistenzsysteme unterstützen den Fahrer zunehmend nicht nur in Grenzsituationen, sondern auch bei der Durchführung der eigentlichen Fahraufgabe. Dabei entsteht ein Problem. Denn eine solche Unterstützung des Fahrers ist nur dann wirklich hilfreich, wenn sie den Fahrer gezielt in Situationen unterstützt, in denen er es benötigt. Dafür gilt es vorrangig, den Fahrerzustand und die Fahrerabsicht für die Regelung der Systeme zu berücksichtigen. Aus Sicht der Automobilindustrie wäre es somit wünschenswert, diese in Echtzeit im Fahrzeug erfassen zu können.

Im ersten Teil dieser Arbeit wurde diskutiert, wie auf eine Ablenkung beziehungsweise die Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers im Fahrzeug geschlossen werden kann. Ablenkung ist eine Folge unzureichender Kontrollprozesse, durch die eine zu geringe Ressourcenzuweisung zur Fahraufgabe erfolgt, so dass das sichere Führen des Fahrzeugs nicht mehr gewährleistet werden kann. Um auf Ablenkung des Fahrers schließen zu können, müssten damit einerseits die Anforderungen der Verkehrssituation und andererseits die vom Fahrer dafür bereitgestellten Ressourcen erfasst werden. Eine Messung, die auf solche Prozesse Rückschlüsse erlaubt, ist nicht im Fahrzeug und wäre vermutlich auch nicht im Labor möglich. Denkbar ist aber, neben der Erfassung der Anforderungen der Verkehrssituation über die Umfeldsensorik zumindest auf die Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers Rückschlüsse zu ziehen. Liegen hohe Anforderungen der Situation vor und ist gleichzeitig festzustellen, dass der Fahrer dem Fahrgeschehen nur teilweise Aufmerksamkeit schenkt, ist mit hoher Wahrscheinlichkeit von einer Ablenkung auszugehen.

In dieser Arbeit wurden drei Bereiche beschrieben, über die ein Rückschluss auf die Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers getroffen werden können. Prinzipiell ist es denkbar, dies über die Erfassung der Wahrnehmung, über eine direkte Erfassung von Nebentätigkeiten und über das Lenk- und Fahrverhalten des Fahrers zu tun.

Wenn es technisch möglich ist, die Blickausrichtung des Fahrers im Fahrzeug zu erfassen, erlaubt dies zum Teil eine Vorhersage hinsichtlich seiner Aufmerksamkeitsausrichtung. Studien, in denen die Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers über Blickbewegungen erfasst wurden, sind vielversprechend (vgl. Kapitel 3.2). Der wesentliche Vorteil dieser Erfassung besteht darin, dass sie recht global ist. Viele Ablenkungen gehen mit einer Blickabwendung einher, so dass alle diese Ablenkungen prinzipiell auch erfassbar sind. Leider ist dieses Verfahren technisch noch nicht so weit gereift, dass ein Einsatz in Serienfahrzeugen denkbar wäre.

Eine Alternative dazu stellen theoretisch Systeme zur Erfassung der Kopforientierung dar. Hierbei zeigt eine eigene Studie (Kapitel 3.3), dass große Kopfbewegungen zwar ein Zeichen für eine visuelle Abwendung von der Straße sind, dass aber Blickabwendungen in den Innenraum, wie zum Beispiel zum Infotainment-Display, nicht über die Kopforientierung erkannt werden können. Damit bleibt über ein solches System nur eine eingeschränkte Zahl an Nebentätigkeiten, die erkannt werden kann.

Wesentliches Problem einer Erfassung von Blicken und der Kopforientierung stellt die Systemverfügbarkeit dar. Denn beide Systeme arbeiten über Kameras, die eine möglichst optimale Ausrichtung auf das Gesicht des Fahrers haben müssen. Die naheliegende Positionierung im Kombiinstrument führt dazu, dass die Kameras leicht durch Hände oder Arme des Fahrers beziehungsweise die Lenkradspeichen verdeckt werden. Denkt man zum Beispiel an eine Ablenkung, wie „Essen während der Fahrt“, ist offensichtlich, dass ein solches System aufgrund der Verdeckung keine Informationen über die Blick- oder Kopforientierung des Fahrers liefern kann. Daher muss über eine gute Positionierung solcher Systeme nachgedacht werden.

Ein weiterer Bereich, um auf die Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers schließen zu können, stellt die Erfassung der Durchführung von Nebentätigkeiten selbst dar. Dabei existieren erste Ansätze, über Kameras die Ausrichtung der Extremitäten des Fahrers zu erfassen und so fahruntypische Handlungen zu erkennen (vgl. Kapitel 4.1). Über dieses Vorgehen könnte es möglich sein, gerade solche Ablenkungen zu erfassen, bei denen

der Fahrer seine Körperstellung stark verändert, also zum Beispiel in das Handschuhfach oder auf den Rücksitz greift. Hier bedarf es jedoch weiterer Forschung.

Eine technisch schon heute realisierbare Alternative stellt die Überwachung von Bedientätigkeiten im Fahrzeug dar. Eine eigene Studie (Kapitel 4.2.1) konnte dabei zeigen, dass typische Bedienhandlungen eine derartige Beanspruchung auf die Fahrer ausüben, dass die Spurführung beeinflusst wird. Darauf basierend kann von einer verminderten Aufmerksamkeitszuweisung zur Fahraufgabe ausgegangen werden. Vorteilhaft ist, dass die Bedienung eindeutig und zeitnah erkannt werden kann.

Als dritte Möglichkeit einer Schätzung der Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers könnten Fahrzeugdaten in Form der Bedienung des Lenkrades und der Pedale dienen. Eine eigene Untersuchung mittels maschinellen Lernens (vgl. Kapitel 5.2) zeigte dabei, dass sich innerhalb dieser Daten Unterschiede zwischen aufmerksamen und unaufmerksamen Fahrern zeigen, die für eine Echtzeit-Vorhersage von Fahrerablenkung genutzt werden könnten. Das Problem dabei ist, dass sich eine Reduktion der Aufmerksamkeit auf Seiten der Fahraufgabe nicht zwangsläufig in den Fahrzeugdaten zeigen muss. Letztendlich ist auch in diesem Bereich weitere Forschung notwendig, um das vollständige Potential einer darauf basierenden Ablenkungsschätzung erfassen zu können.

Ein weiterer Schritt, der in dieser Arbeit nicht behandelt wurde, ist die Kombination der Methoden. So ist es denkbar, dass zum Beispiel die Kombination einer Wahrnehmungserfassung und der Analyse der Fahrzeugdaten eine insgesamt zuverlässigere und globalere Erkennung der Aufmerksamkeitsverteilung des Fahrers ermöglicht. Sinnvoll erscheint zum Beispiel auch eine Kombination des Körpertrackings mit der Blick- oder Kopferfassung. Dadurch sollte eine Überwachung auch dann stattfinden können, wenn die Kameras zur Erfassung der Wahrnehmung des Fahrers verdeckt sind. Zunächst muss weitere Forschung in diesem Bereich erfolgen. Insgesamt



ist durch die Kombination der Methoden aber eine deutliche Leistungssteigerung zu erwarten.

Grundsätzlich erlaubt keine dieser Methoden eine direkte Messung von Ablenkung, sondern nur die Erfassung von Indikatoren hinsichtlich der Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers. Die Ausführungen verdeutlichen jedoch, dass dies über die einzelnen Methoden in vielen verschiedenen Bereichen und Situationen möglich ist. In Kombination mit der Erfassung hoher Anforderungen der Verkehrssituation über die Umfeldsensorik des Fahrzeugs kann so gefolgert werden, dass der Fahrer zu wenig Ressourcen für die Fahraufgabe zur Verfügung gestellt hat und Unterstützung durch ein Assistenzsystem gebrauchen könnte. Der zweite Teil dieser Arbeit beschäftigt sich mit Spurhalteassistenten und den Möglichkeiten, diese über eine Berücksichtigung einer solchen Fahrerzustandserkennung zu verbessern.

II. Teil

Spurhalteassistenzsysteme und Ablenkungserkennung

## **7. Aktuelle Spurhalteassistenzsysteme**

---

Nachdem im ersten Teil der Arbeit beschrieben wurde, über welche Methoden eine Schätzung von Ablenkung beim Autofahren möglich ist, soll dieses Wissen nun konkret auf Spurhalteassistenzsysteme angewandt werden. Dazu gibt das vorliegende Kapitel zunächst einen Einblick in die technische Funktionsweise von aktuellen Spurhaltesystemen und die verschiedenen Varianten der Assistenz (Kapitel 7.1). Weiter erfolgt ein Überblick über Studien hinsichtlich der Wirksamkeit und dem Nutzen sowie der Akzeptanz gegenüber den Systemen (Kapitel 7.2).

Die Möglichkeiten einer Anpassung der Warnstrategie von Spurhalteassistenten an die Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers werden in Kapitel 8 diskutiert. Kapitel 9 beschäftigt sich mit möglichen negativen Verhaltensanpassungen an Spurhalteassistenzsysteme. Ein abschließende Zusammenfassung und Diskussion einer adaptiven Gestaltung von Spurhalteassistenzsystemen wird in Kapitel 10 gegeben. Das Kapitel 11 beinhaltet einen Ausblick auf weiteren Forschungsbedarf.

### **7.1. Technische Beschreibung**

Systeme zur Unterstützung bei der Spurhaltung bestehen nach Gayko (2009a) im Wesentlichen aus folgenden Komponenten:

- einem Sensor zur Umgebungserfassung
- Algorithmen zur Erkennung der Fahrspur
- einer Entscheidungseinheit für die Auslösung von Warnungen oder Eingriffen
- einem Aktuator zur Erzeugung der Warnung oder zur Durchführung des Eingriffs

Die verschiedenen Komponenten werden im Folgenden kurz dargestellt.

### **7.1.1. Sensoren und Algorithmen zur Fahrspurerkennung**

Citroën war 2005 der erste Hersteller, der ein System zur Spurverlassenswarnung auf dem europäischen Markt anbot (Gayko 2009a). Dabei verwendet Citroën im Gegensatz zu allen anderen Herstellern bis heute Infrarot-Sensorik. Die Infrarotsensoren sind unter den vorderen und hinteren Stoßfängern verbaut und detektieren Veränderungen der Reflektanz der Straßenoberfläche. Fährt der Fahrer nahe an eine Spurmarkierung, wird über die Reflektanzänderung auf eine Linie geschlossen. Durch die Nutzung von Infrarot-Sensorik und die damit verbundene Positionierung der Sensoren ermöglicht das System aber nur eine verhältnismäßig späte Linienerkennung.

Bei den anderen Herstellern werden anstelle der Infrarotsensoren Mono- oder Stereo-Kamerasysteme genutzt, die meist neben dem Innenspiegel positioniert sind (Deram 2004) und damit eine deutlich bessere Vorausschau und Prädiktion der Fahrzeugbewegung erlauben. Gleichzeitig können diese Kameras auch für andere Funktionen wie zum Beispiel eine Verkehrszeichenerkennung genutzt werden. Im Automobilbereich werden meist CMOS-Kameras (Complementary Metal Oxide Semiconductor) verwendet, die einen deutlich höheren Dynamikbereich aufweisen und somit besser als CCD-Kameras (Charged Coupled Device) hohe Kontraste und unterschiedliche Lichtintensitäten verarbeiten können.

Die Vorgehensweise bei der Extraktion der Spurmarkierungen aus dem Videobild wird zum Beispiel bei Knoll et al. (2006) und Reif (2009a) beschrieben. Die Monokamera-Systeme erfassen einen Bereich von etwa 40 bis 50 Metern vor dem Fahrzeug. Um die Ansprüche an den Rechenaufwand des Prozessors im Steuergerät möglichst gering zu halten, wird nicht das komplette Bild analysiert, sondern Modell-basiert nur bestimmte Bereiche. In dieses Modell gehen unter anderem potentielle Spurbreiten und Spurkrümmungen sowie die Position des Fahrzeugs relativ zu möglichen Spuren ein. Ausgehend von dieser Spurvorsage werden in Bereichen des Bildes, in denen sich die Spurmarkierungen befinden könnten, Messfenster platziert (siehe Abbildung 7.1).

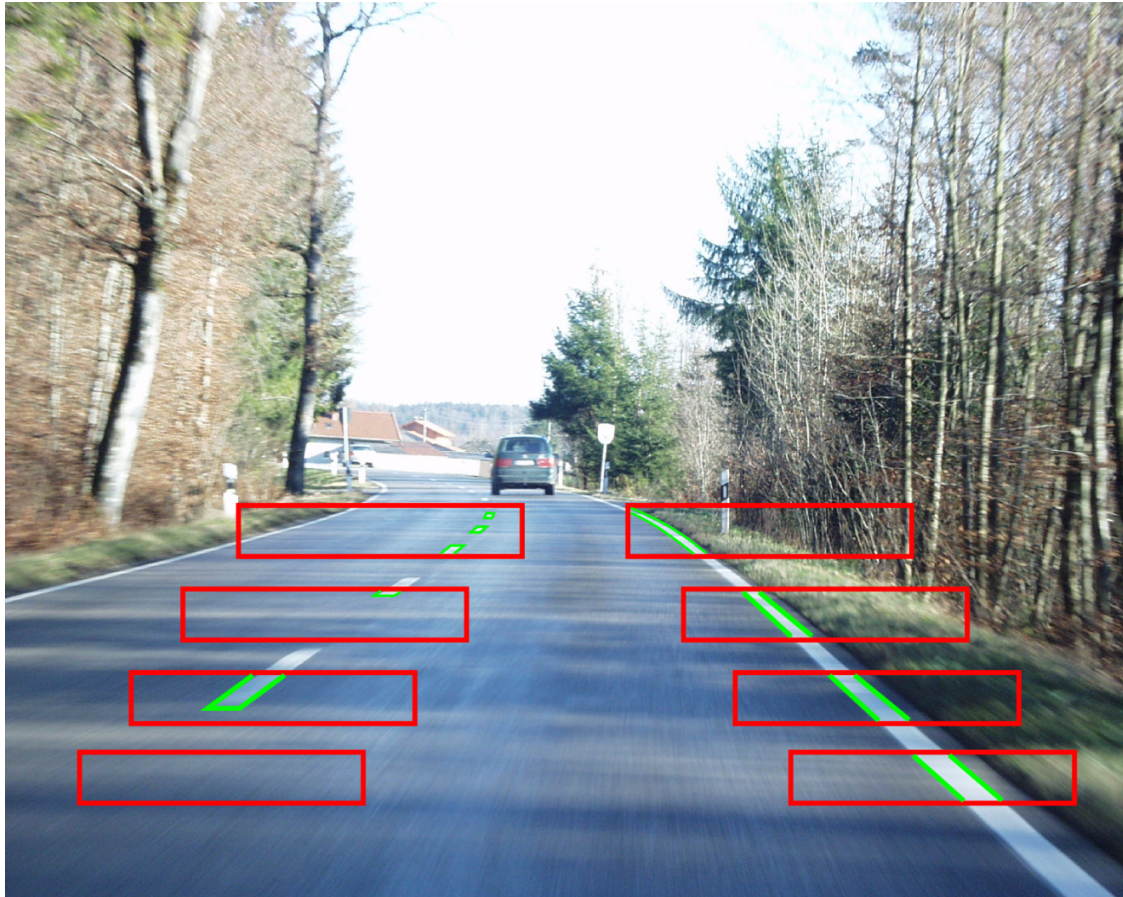


Abbildung 7.1: Fahrspurerkennung über Messfenster

Eine Möglichkeit ist, über die Analyse des Luminanzsignals und eine anschließende Hochpassfilterung die Grenzen der Spurmarkierungen innerhalb der Messfenster zu erkennen. Mit Hilfe eines Kalman-Filters können dabei die Lücken überbrückt werden. Informationen der erkannten Spur gehen dann erneut in das Spurmodell für den nächsten Messzyklus ein.

Je nach Ziellassistent unterscheidet sich die Anzahl an Merkmalen, die extrahiert werden müssen (Gayko 2009b). Für ein einfaches LDW-System reicht letztendlich das Erkennen der Fahrspur relativ zum eigenen Fahrzeug. Für die Generierung gezielter Lenkmomente in Richtung Spurmitte (HC-Systeme) bedarf es der Erkennung beider Linien, der Position und Orientierung des Fahrzeugs innerhalb der Spur und einer Vorausschau der Straßengeometrie.

### 7.1.2. Entscheidungseinheit für die Auslösung von Warnungen oder Eingriffen

Basierend auf der Erkennung der Fahrspur und der Position des Fahrzeugs relativ zur Spur kann ein Algorithmus zur Warnung oder zum Eingriff aufgebaut werden. Grundsätzlich werden Warnungen oder Eingriffe unterdrückt, wenn der Blinker betätigt wird. In diesen Situationen wird angenommen, dass der Fahrer willentlich die Fahrspurbegrenzung überfährt. Zweites Kriterium für eine Systemfunktion ist eine ausreichende Eigengeschwindigkeit des Fahrzeugs, die zum Beispiel bei Volkswagen über 60 km/h und bei Citroën über 80 km/h liegen muss.

Ist der Blinker nicht aktiviert und liegt die Fahrzeuggeschwindigkeit über dem Geschwindigkeitslimit, gibt es verschiedene Kriterien für die Auslösung einer Warnung oder eines Eingriffs.

Die einfachste Möglichkeit für LDW-Systeme stellt dabei die Festlegung eines „Distance to line“-Kriteriums (DLC) dar. Die Warnung erfolgt über den Abstand des Rades zur Spurmarkierung (zum Beispiel 10 cm) und prädiziert nicht die Fahrzeugbewegung in die Zukunft, was teilweise mit Problemen (zum Beispiel bei hohen Geschwindigkeiten) verbunden ist.

Das meist genutzte Kriterium ist die „time to line crossing“ (TLC), also die Zeit bis zum Überfahren der Spurmarkierung, bei der die Fahrzeugbewegung in der Zukunft berücksichtigt wird.

Es existieren unterschiedlich komplexe Methoden zur Berechnung. Grundsätzlich fließen hier neben der Fahrspurbreite  $b$ , die Eigengeschwindigkeit  $v$ , der Abstand zur Fahrspurmitte  $x_{off}$ , die Fahrzeugbreite  $b_{fzg}$  und der Gierwinkelfehler des Fahrzeugs  $\psi$  (Winkel zwischen der Fahrzeuglängsachse und der Fahrspurtangente) mit ein. Ein Beispiel für eine einfache TLC-Berechnung über diese Größen ist in Gayko (2009a) zu finden:

$$TLC = \frac{b/2 - b_{fzg}/2 \pm x_{off}}{v \times \sin(\psi)}$$

Bei dieser Prädiktion bleiben unter anderem der Lenkwinkel und die Gierrate unberücksichtigt, über die eine noch bessere Vorhersage erzielt werden kann. Näheres zu unterschiedlich komplexen Berechnungen und deren Vor- und Nachteilen findet sich zum Beispiel bei Pomerleau, Jochem, Thorpe, Batavia, Pape et al. (1999) und Mammarr, Glaser und Netto (2006). Neben einer detaillierten Darstellung erfolgen dort auch Validierungen der Genauigkeit der Berechnungen hinsichtlich gerader und kurviger Streckenabschnitte.

### **7.1.3. Aktuatoren**

Ausgehend von der Erkennung der Spurmarkierung und der Berechnung der DLC beziehungsweise TLC und damit einer Eingriffsentscheidung wird über Aktuatoren eine Rückmeldung an den Fahrer gegeben. Die Einteilung von Systemen zur Unterstützung der Spurführung erfolgt danach, ob die Aktuatoren nur warnen (LDW-Systeme) oder eingreifen (HC-Systeme).

#### **7.1.3.1. LDW-Systeme**

Bei LDW-Systemen erfolgt nur eine Warnung. Hierbei unterscheiden sich die Systeme hinsichtlich der zur Warnung genutzten Modalitäten. Citroën, Audi, BMW und Lexus nutzen haptisches Feedback (vgl. Gayko 2009a), wenn auch in unterschiedlicher Form. Bei Citroën wird eine Vibration des Fahrersitzes ausgelöst, wobei die Seite des Sitzes vibriert, auf der der Fahrer von der Straße abzukommen droht. Bei den LDW-Systemen von Audi und BMW erfolgt eine Vibration des Lenkradkranzes. Lexus gibt haptisches Feedback in Form von ungerichteten Lenkmomenten am Lenkrad.

Gayko (2009a) spricht auch die Möglichkeiten akustischer oder visueller Warnungen zum Beispiel über Lautsprecher im Fahrzeug beziehungsweise ein Head-Up-Display oder das Kombiinstrument an. Das Problem bei visuellen Warnungen ist, dass diese bei einer Ablenkung möglicherweise ebenso wenig wahrgenommen werden wie das Abkommen von der Straße. Haptische Warnungen haben gegenüber akustischen Warnungen

besonders hinsichtlich der Reaktion auf die Warnung als auch im Hinblick auf die Akzeptanz von Fahrer und Beifahrer einen Vorteil. Entsprechende Ergebnisse finden sich bei Navarro, Mars und Hoc (2007); Suzuki und Jansson (2003); Kozak, Pohl, Birk, Greenberg, Artz et al. (2006) und Hoc, Mars, Milleville-Pennel, Jolly, Netto et al. (2006).

#### **7.1.3.2.     *Heading-Control-Systeme***

Bei HC-Systemen wird nicht nur eine Warnung ausgelöst, sondern der Fahrer aktiv bei der Spurhaltung durch die Systemeingriffe unterstützt. Hierbei gibt es unterschiedliche Varianten. Zum einen existieren HC-Systeme, die wie LDW-Systeme erst kurz vor dem Überfahren der Spurmarkierung eingreifen (im Folgenden auch „später Eingriff“ genannt). Erst wenn der Fahrer die Fahrspur zu verlassen droht, wird ein Eingriff initiiert, der das Fahrzeug zurück in Richtung Spurmitte führt.

Zum anderen brachte Lexus 2006 als erster Hersteller weltweit ein HC-System auf den Markt, das den Fahrer kontinuierlich bei der Spurführung unterstützt („kontinuierlicher Eingriff“). Unabhängig von der Position des Fahrzeugs in der Spur generiert das System Lenkmomente in Richtung Ideallinie. Dieses System ist vorrangig ein Komfortsystem und soll den Fahrer bei der Querführung entlasten.

Die Eingriffe beider Varianten sind in der Abbildung 7.2 über Lenkmomentcharakteristiken veranschaulicht. Beide Unterstützungen sind so aufgebaut, dass sie jederzeit vom Fahrer „übersteuert“ werden können, der Fahrer also stets gegen das System lenken kann und die Kontrolle über das Fahrzeug behält.

Die Regelung dieser Form von Assistenz benötigt neben den Daten der Spurerkennung zusätzliche fahrdynamische Größen, wie die Geschwindigkeit, den Lenkrad- und Lenkwinkel, die Querbeschleunigung des Fahrzeugs und das vom Fahrer aufgebrachte Handlenkmoment, um die Ideallinie und die nötigen Eingriffe berechnen zu können (Gayko 2009b).



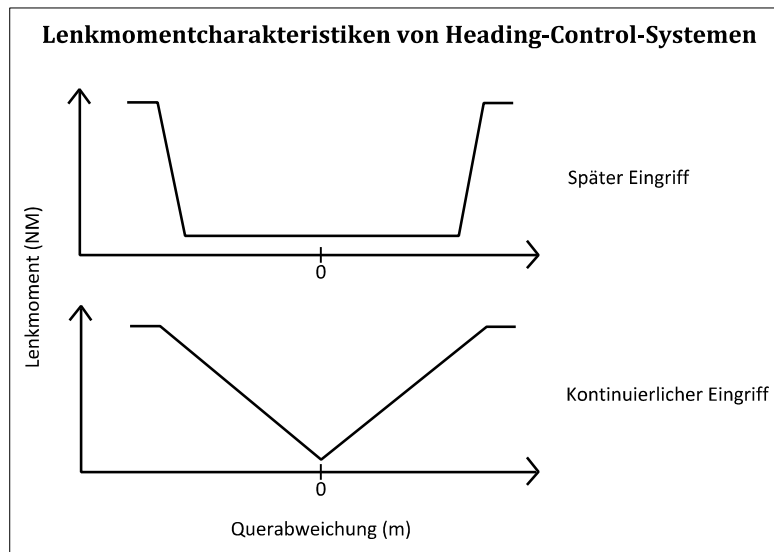


Abbildung 7.2: Lenkmomentcharakteristiken von Heading-Control-Systemen

Die gebräuchlichere technische Umsetzung eines Lenkeingriffs erfolgt über die Aufschaltung von Lenkmomenten mit Hilfe einer elektromechanischen Lenkung (vgl. Rohlfs et al. 2008). Hierbei erfolgt die Lenkunterstützung nicht mehr über ein hydraulisches sondern über ein elektromechanisches Lenksystem. Neben Gewichtsvorteilen bieten diese Systeme die Möglichkeit, über den Elektromotor verzögerungsfrei auch höhere Lenkmomente am Lenkrad aufbringen zu können (Rieger 2008). Über die oben beschriebenen Eingangsgrößen ermittelt ein Regler das vom Elektromotor zu generierende Zusatzlenkmoment, das in Addition zum vom Fahrer aufgebrauchten Lenkmoment das Fahrzeug auf die Ideallinie führt. Diese Zusatzlenkmomente liegen laut Gayko (2009b) zwischen zwei und drei Newtonmetern und können somit leicht von Fahrern übersteuert werden.

Für einen „späten Eingriff“ ist auch eine weitere Alternative denkbar, bei der die Fahrzeugpositionierung über ein systematisches Bremsen der Räder realisiert wird (Gayko 2009a). Hierbei wird durch das einseitige Bremsen eine gezielte Fahrzeugrotation um die Hochachse in die gewünschte Richtung ausgelöst. Ein Nebeneffekt dieser Form der Spurhalteassistentz ist die Geschwindigkeitsreduktion, die im Falle eines tatsächlichen Spurverlassens sicherlich positiv zu bewerten ist, bei einem

unnötigen Eingriff jedoch auch als stärker störend erlebt werden kann. Ein derartiges System ist von Daimler vorgestellt worden (Brünglinghaus 2010).

## **7.2. Nutzen von Spurhalteassistenzsystemen**

Im Folgenden soll der Nutzen von Systemen zur Unterstützung der Spurhaltung näher dargestellt werden. Zunächst wird dazu auf Unfallstatistiken und die hier relevanten Spurverlassensunfälle eingegangen (Kapitel 7.2.1). Da diese Arbeit auf den Fahrerzustand ausgerichtet ist, wird dabei auch die Rolle von Unaufmerksamkeit berücksichtigt. Daran anschließend erfolgt eine Übersicht zu Fahrstudien, die sich mit dem Nutzen und der Akzeptanz von LDW- und HC-Systemen befassen haben (Kapitel 7.2.2).

### **7.2.1. Unfälle durch Spurverlassen**

Die Abbildung 7.3 zeigt die Anzahl der Verkehrsunfälle in Deutschland im Jahr 2008 nach Unfallarten getrennt (Destatis 2009). Es ist ersichtlich, dass der häufigste Unfalltyp ein Zusammenstoß mit einem anderen Fahrzeug gewesen ist (62,7 %). Der zweithäufigste Typ war „Abkommen von der Straße“ mit 14,8 % aller Unfälle mit Personenschäden. Obwohl dieser Kategorie nur 14,8 % der Unfälle zuzuordnen sind, entfallen insgesamt 32,9 % der Getöteten auf diesen Unfalltyp. Laut Abele, Kerlen, Krueger, Baum, Geißler et al. (2005) könnte ein Großteil dieser Unfälle durch LDW- und HC-Systeme verhindert werden.

Im Zusammenhang damit entsteht die Frage, in welchem Umfang Ablenkung und Unaufmerksamkeit für Spurverlassensunfälle von Bedeutung sind. Schon in Kapitel 2.3 wurden kurz die Verkehrsunfallanalysen von Eby und Kostyniuk (2004) angesprochen. Diese analysierten die Daten der CDS-Datenbank. Die wesentlichsten Unfälle in Zusammenhang mit Unaufmerksamkeit waren Spurverlassensereignisse und Auffahrunfälle. Innerhalb der Spurverlassensunfälle wurden 53,6 % der Fälle nicht

ausreichend kodiert, so dass die Unfallursache nicht bekannt war. Für 11,5 % der Fälle kann jedoch klar Unaufmerksamkeit oder Ablenkung als Grund festgehalten werden.

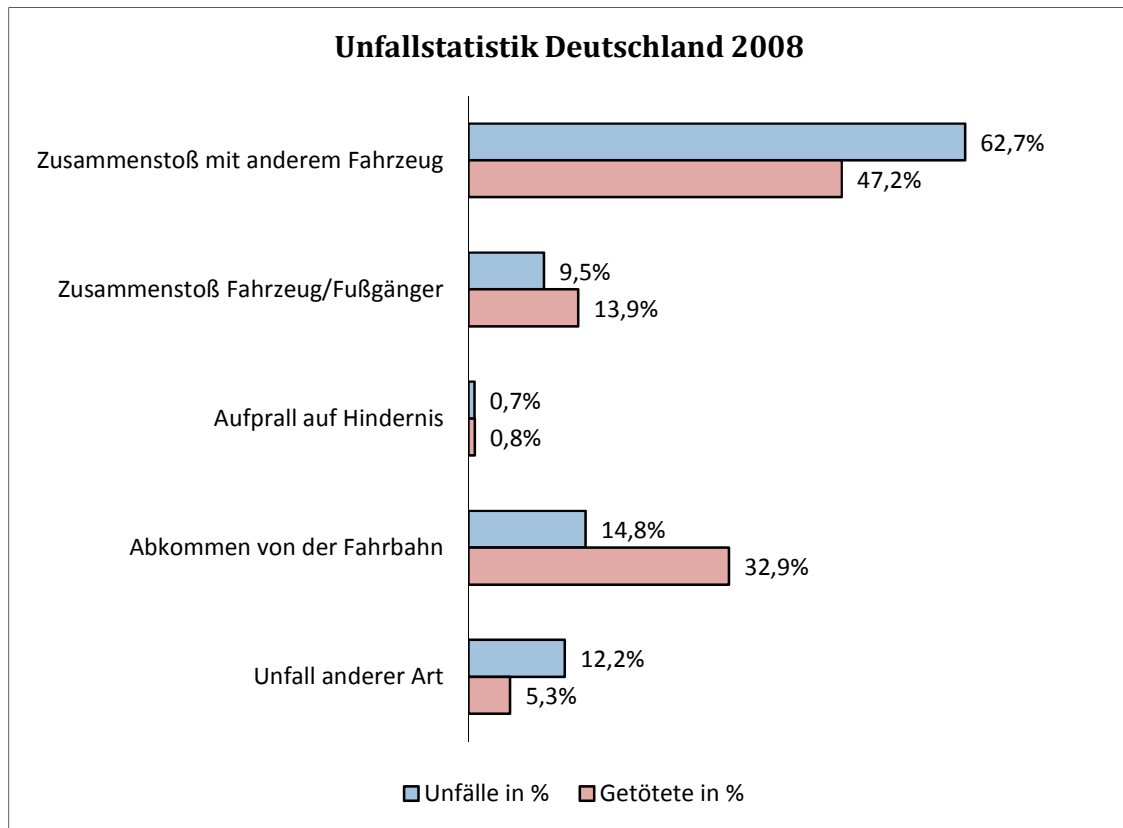


Abbildung 7.3: Unfallstatistik nach Unfallarten in Deutschland 2008 (Destatis 2008)

McLaughlin et al. (2009) analysierten die Daten der „100-car-study“ hinsichtlich Spurverlassensereignissen. In diesen fanden sich 28 tatsächliche und 94 Beinahe-Spurverlassens-Ereignisse. Der häufigste Grund für ein Spurverlassen waren Ablenkung und Unaufmerksamkeit mit 40 %, wobei alleine 36 % auf Nebentätigkeiten zurückzuführen waren. Abbildung 7.4 zeigt eine Übersicht über die unterschiedlichen Nebentätigkeiten beim Spurverlassen. Ähnlich wie schon in Abbildung 2.3 finden sich hier Ablenkungen außerhalb des Fahrzeugs (zum Beispiel Unfälle auf der Gegenfahrbahn), Bedienung von Mobiltelefonen und Ablenkungen durch Beifahrer.

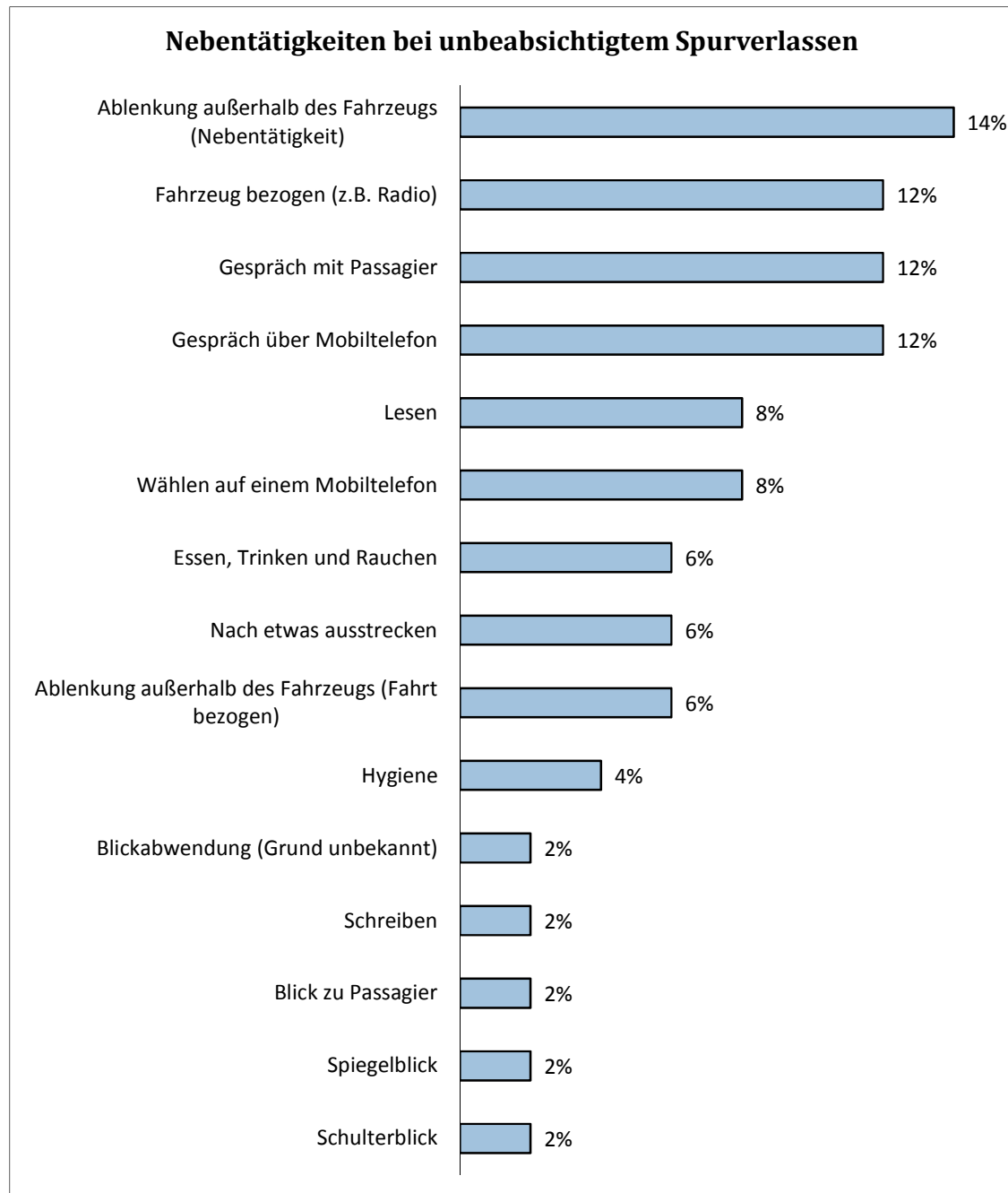


Abbildung 7.4: Gründe für unbeabsichtigtes Spurverlassen (McLaughlin et al. 2009)

Zusammenfassend lässt sich damit festhalten, dass in Deutschland etwa 14,8 % der Unfälle ein Spurverlassen darstellen, wobei bei diesem Unfalltyp 32,9 % aller Verkehrstoten zu verzeichnen sind. McLaughlin et al. (2009) ordnen aufgrund einer Studie in den USA 40 % der Spurverlassensereignisse Ablenkung und Unaufmerksamkeit

zu, wobei die Fahrer meist mit Nebentätigkeiten beschäftigt waren. Neben verschiedenen weiteren Unfällen könnten gerade diese Unfälle durch LDW- oder HC-Systeme teilweise verhindert werden, was den Nutzen der Systeme klar hervorhebt.

### **7.2.2. Objektiver Nutzen und Akzeptanz von Spurhalteassistenzsystemen**

Neben dem theoretischen Nutzen, der sich aufgrund der Unfallzahlen für Spurhalteassistenzsysteme erwarten lässt, wurde in verschiedenen Studien auch der tatsächlich messbare Nutzen und die Akzeptanz gegenüber den Systemen sowohl im Simulator als auch im Feld näher analysiert.

#### **7.2.2.1. LDW-Systeme**

*LDW-Systeme* wurden unter anderem von Rimini-Döring, Altmüller, Ladstätter und Rossmeier (2005); Kozak et al. (2006) und Navarro et al. (2007) *im Fahrsimulator* untersucht. Dabei zeigte sich neben einer geringeren Anzahl an Spurverlassensereignissen auch eine geringe Standardabweichung der Querposition des Fahrzeugs.

Portouli, Papakostopoulos, Lai, Chorlton, Hjalmdahl et al. (2006) untersuchten *LDW-Systeme in einem Feldexperiment*. Bei einem Vergleich der Subgruppe ohne LDW-System mit der Gruppe mit aktiviertem System zeigte sich eine geringere Standardabweichung der Querposition sowie weniger Spurverlassensereignisse. Im Rahmen dieser Studie wurde auch eine Befragung hinsichtlich der Akzeptanz gegenüber dem LDW-System durchgeführt. Die Probanden beurteilten das System als nützlich und zufriedenstellend. Einzelinterviews mit den Fahrern brachten vereinzelt Probleme wie Warnungen bei Spurwechseln ohne Blinker und einer insgesamt als sehr hoch wahrgenommenen Anzahl an unvermeidbaren, aber unnötigen Warnungen mit sich. Damit verbunden berichteten mehrere Fahrer, die LDW-Warnungen nach und nach ignoriert zu haben.

Im Rahmen dieser Studie befragten Portouli et al. (2006) zusätzlich Fahrer von Citroën C4 und C5 Modellen mit einem LDW-System. Fast alle Fahrer schätzten ihr System als zuverlässig ein. Jedoch berichteten die Hälfte der Befragten unnötige Warnungen oder das Ausbleiben einer nötigen Warnung erlebt zu haben. Die Mehrzahl der Teilnehmer gab auch hier an, dass das System die Sicherheit beim Autofahren erhöhe.

Die Ergebnisse der beiden großen *LDW-Feldstudien* von LeBlanc et al. (2006) und Alkim et al. (2007) wurden bereits in Kapitel 1.1 angesprochen. Neben den schon dargestellten Ergebnissen zur Nützlichkeitsbewertung der Warnungen wurde in der Studie von LeBlanc et al. (2006) auch der Einfluss auf die Spurhaltung genauer untersucht. Es zeigte sich, dass mit Nutzung des Assistenten eine starke Reduktion der Spurverlassenswarnungen einherging, was mit einer verbesserten Spurhaltung gleichgesetzt werden kann. Gleichzeitig stieg die Nutzung des Blinkers bei Spurwechseln stark an, was im Sinne der Verkehrssicherheit ebenfalls positiv anzusehen ist.

Die subjektiven Urteile wurden nach Abschluss der Datenerhebung per Fragebogen erfasst und die einzelnen Items des Fragebogens zu den vier Subskalen „Komfort und Bequemlichkeit“, „Benutzerfreundlichkeit“, „Sicherheit“ und „Kaufinteresse“ zusammengefasst. Die Auswertung der Antworten zeigte, dass das LDW-System auf allen diesen Skalen als positiv beurteilt wurde.

Abschließende Fokusgruppen thematisierten nochmals die Akzeptanz gegenüber dem LDW-System. Hierbei zeigte sich, dass sich nur drei der 78 Fahrer von dem LDW-System beziehungsweise dessen Warnungen gestört fühlten. Die übrigen Fahrer nahmen zwar falsche Warnungen wahr, konnten diese aber ignorieren. Ein weiterer Teil der Fahrer berichtete, dass sie mindestens eine Situation erlebt hätten, in der das System eine Warnung „vergessen“ hatte.

Alkim et al. (2007) kamen zu ähnlichen objektiven Verhaltensdaten. Auch in Ihrer Studie wurde ein objektiver Sicherheitsgewinn durch eine bessere Spurhaltung und die subjektive Wahrnehmung dessen festgestellt. Wie in der Einleitung angesprochen, wurde das akustisch-warnende LDW-System aber gleichzeitig als störend beurteilt („*Annoying, but effective!*“).

Die dargestellten Studien zeigen damit ein einheitliches Bild hinsichtlich eines objektiven Nutzens von LDW-Systemen. In jeder Studie konnte eine Verbesserung der Spurhaltung durch das jeweilige System erreicht werden. Damit einhergehend wurde ein Sicherheitsgewinn durch diese Systeme auch von allen Fahrern geäußert. Uneinheitlicher sind die Aussagen hinsichtlich der Akzeptanz. Während das Bild insgesamt positiv erscheint, tauchen in den Studien von Portouli et al. (2006), Alkim et al. (2007) und Leblanc et al. (2006) vermehrt Hinweise dahingehend auf, dass die Systeme aufgrund zu vieler falscher und unvermeidbarer Warnungen störten. Bei Betrachtung der Abbildung 1.1 wird das Verbesserungspotential deutlich.

#### **7.2.2.1. HC-Systeme**

Studien mit Heading-Control-Systemen, die explizit den Nutzen der Systeme untersuchen, finden sich bislang kaum. Steele und Gillespie (2001) zeigten in einem *Fahrsimulatorexperiment* eine verbesserte Spurhaltung und eine Reduktion des visuellen Workloads bedingt durch die Nutzung eines Heading-Control-Systems.

Gayko (2007) untersuchte ein *HC-System* von Honda *im realen Straßenverkehr* auf japanischen Schnellstraßen. Hierbei legte er den Fokus verstärkt auf die Systemauslegung und unterschiedliche Grade an Assistenz, betrachtete jedoch nicht, ob sich ein Sicherheitsgewinn in Form einer verbesserten Spurhaltung zeigte. Die subjektiven Urteile wurden von einer nicht benannten Anzahl an Versuchsfahrern abgegeben. Hier zeigte sich, dass die Fahrer hohe Grade an Lenkunterstützung als positiv hinsichtlich der Effektivität des Systems, des Systemvertrauens und des Sicherheitsgewinns beurteilten.

Abschließend kann damit festgehalten werden, dass es bislang keine empirische Basis gibt, die den Nutzen und die Akzeptanz gegenüber HC-Systemen klar belegen. Da die Algorithmen der Entscheidungseinheiten in LDW und HC-Systemen nach gleichen Prinzipien aufgebaut sind, ist aber auch im Bereich von HC-Systemen zunächst von einer ähnlichen Warnqualität wie bei LDW-Systemen auszugehen. Eine Studie von Buld,

Krüger, Hoffmann, Kaussner, Tietze und Totzke (2002) lässt jedoch vermuten, dass Eingriffe in Form von Lenkmomenten besser beurteilt werden als haptische Warnungen.



## 8. Ablenkungserkennung für Spurhalteassistenzsysteme

---

Nachdem in den Kapiteln 3 bis 5 verschiedene Methoden vorgestellt wurden, um auf eine Ablenkung des Fahrers in Echtzeit schließen zu können und im Kapitel 7 aktuelle Spurhalteassistenzsysteme beschrieben wurden, werden diese Informationen in diesem Kapitel zusammengeführt. Wie im Rahmen von Kapitel 1.1 und Kapitel 7.2 dargestellt wurde, ist die Warnstrategie von Spurhalteassistenzsystemen häufig unangemessen. Denn für die Warnungsentscheidung wird nur die „time-to-line-crossing“ und die Nutzung des Blinkers verwendet, die keine validen Indikatoren für den Fahrerzustand beziehungsweise eine Ablenkung des Fahrers sind. Die Folge davon sind vor allem Akzeptanzprobleme (vgl. Kapitel 7.2.2), aber auch eine Verringerung des Warncharakters und damit eine Reduktion des Sicherheitsgewinns sind zu erwarten (Zabyszny und Ragland 2003). Eine Optimierung dieser Systeme könnte über die Berücksichtigung des Fahrerzustands erfolgen. Ist ein Fahrer abgelenkt, benötigt er Assistenz. Hat er ausreichend Aufmerksamkeit auf die Fahraufgabe gerichtet, muss keine Unterstützung erfolgen.

Um mit hoher Sicherheit auf eine Ablenkung eines Fahrers schließen zu können, müssen auf der einen Seite die Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers und auf der anderen Seite die Anforderung der Verkehrssituation innerhalb der nächsten Sekunden erfasst werden. Im Bereich der Spurhalteassistenz wird die Erkennung der Anforderungen der Verkehrssituation über das Spurverlassen operationalisiert. Droht das Fahrzeug die Spur zu verlassen, kann von einer gewissen Anforderung an den Fahrer ausgegangen werden. Wird gleichzeitig über eine der in den Kapiteln 3 bis 5 dargestellten Methoden eine Aufmerksamkeitsabwendung von der Fahraufgabe festgestellt, kann mit hoher Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass der Fahrer abgelenkt ist und aufgrund dessen von der Fahrbahn abzukommen droht. Durch die Kombination dieser Informationen sind für LDW-Systeme als auch für „spät“-eingreifende HC-Systeme

prinzipiell zwei verschiedene Adaptions-Strategien denkbar<sup>4</sup>. Diese Strategien sind in Abbildung 8.1 dargestellt.

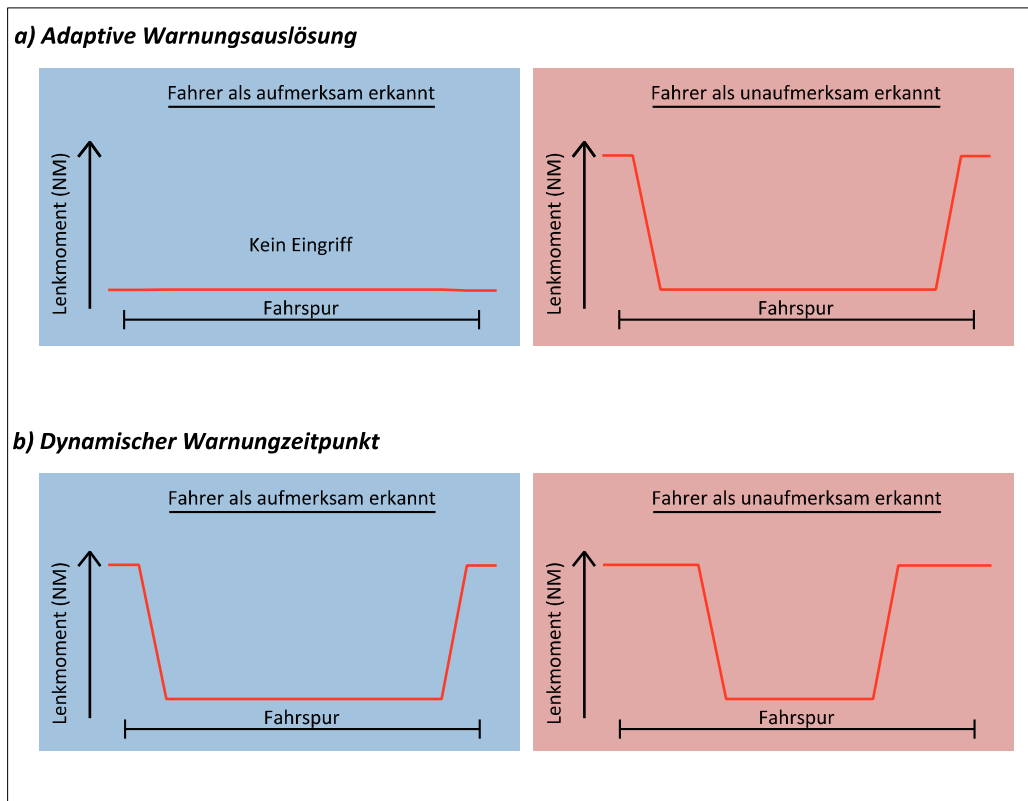


Abbildung 8.1: Adaptions-Strategien von Fahrerzustands-adaptiven Spurhalteassistenzsystemen

Zum einen könnte bedingt durch die Berücksichtigung der Aufmerksamkeitsausrichtung und der Situationsanforderung eine *adaptive Warnungsauslösung* erfolgen (Abbildung 8.1a). Richtet der Fahrer seine Aufmerksamkeit auf das Verkehrsgeschehen, erfolgt bei Spurverlassen keine Warnung. Denkbar ist auch, dass nur dann eine Warnung erfolgt, wenn der Fahrer mit hoher Wahrscheinlichkeit seine Aufmerksamkeit vom Fahrgeschehen abwendet. Die Idee derartiger Anpassungen erscheint im Hinblick auf die Abbildung 1.1 sinnvoll. Durch diese Strategie könnten vor allem die Fehlwarnungen

<sup>4</sup> Eine solche Adaption bei „kontinuierlichen“ HC-Systemen bietet sich nicht an, da bei diesen Systemen nicht das Vermeiden eines Spurverlassens, sondern ein Komfortgewinn im Vordergrund steht. Das heißt, das Ziel dieses Systems ist eine permanente und nicht eine situationsbezogene Assistenz.

bei Spurwechseln ohne Betätigung des Blinkers und in Fällen, in denen das System zu sensitiv ist, reduziert werden.

Eine Alternative ist der *dynamische Warnzeitpunkt* (Abbildung 8.1b). Richtet der Fahrer seine Aufmerksamkeit auf eine Nebentätigkeit, erfolgen die Warnungen beziehungsweise die Unterstützung früher beziehungsweise bei einer größeren „time-to-line-crossing“ (TLC). Wird der Fahrer als aufmerksam hinsichtlich der Fahraufgabe klassifiziert, können Warnungen oder Eingriffe später erfolgen (geringere TLC). Im Hinblick auf die Ergebnisse von Leblanc et al. (2006) sollte damit eine Minimierung von Warnungen erreicht werden, bei denen das System zu sensitiv war oder zu spät warnte. Dies würde den Zwiespalt zwischen einem hohen Sicherheitsgewinn (möglichst frühe Warnungen) und der Anzahl unnötiger Warnungen (möglichst späte Warnungen) lösen. Für beide Strategien ist unklar, wie sie von den Fahrern subjektiv beurteilt werden. Den Ausführungen von Naab (2000) zufolge werden Fahrerassistenzsysteme nur akzeptiert, wenn sie den persönlichen Fahrstil des Fahrers berücksichtigen und unterstützen. Kompass und Huber (2007) weisen in Ihren zehn goldenen Regeln der Fahrerassistenz darauf hin, dass Fahrerassistenz die Souveränität des Fahrers bewahren muss und in keiner Weise bevormundend sein darf. Theoretisch sollte es über eine Aufmerksamkeits-adaptive Querführungsassistenz möglich sein, den Fahrer stärker zu berücksichtigen als bei einem „Standard“-Spurhalteassistenzsystem.

Wie beschrieben kann jedoch keine Methode eine zweifelsfreie Detektion der Aufmerksamkeitsausrichtung oder einer Ablenkung des Fahrers gewährleisten. Alle Schätzmethoden sind mit Ungenauigkeiten versehen, da sie nur Indikatoren und nicht direkt eine Ablenkung des Fahrers erfassen können. Damit einhergehend muss sich zeigen, inwieweit eine solch ungenaue Schätzung eine subjektiv bessere Anpassung an den Unterstützungsbedarf des Fahrers zu leisten vermag.

In den Kapiteln 8.1 bis 8.3 werden die Methoden der Aufmerksamkeitsschätzung in Zusammenhang mit der Nutzung im Rahmen von Spurhalteassistenzsystemen diskutiert. Zunächst werden in Kapitel 8.1 Studien dargestellt, in denen die Eingriffe eines

Spurhalteassistenzsystems an die Kopforientierung des Fahrers angepasst wurden. Auch die Verwendbarkeit von Blickbewegungen für eine solche Anwendung wird diskutiert. In Kapitel 8.2.1 folgt zunächst eine kurze theoretische Diskussion, inwieweit eine Erfassung der Ausrichtung der Körperteile des Fahrers für die hier verfolgte Anpassung von Querführungsassistenten geeignet ist. Im Anschluss daran wird in Kapitel 8.2.2 eine eigene Studie dargestellt, in der eine Anpassung eines Spurhalteassistenzsystems an die Bedienung des Infotainment-Systems untersucht wurde. Kapitel 8.3 beinhaltet dann eine Diskussion, inwieweit die Schätzung des Aufmerksamkeitsgrades des Fahrers über Fahrzeugdaten für eine Anpassung einer Spurhalteunterstützung sinnvoll erscheint.

### **8.1. Blick- und Kopferfassung zur Anpassung von Spurhalteassistenzsystemen**

Kapitel 3 behandelte die Möglichkeit, visuelle Abwendung des Fahrers über ein Blick- oder Kopforientierungserfassungssystem im Fahrzeug messen zu können und darauf aufbauend und die Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers erfassen zu können. Dabei zeigte sich, dass Blickerfassungssysteme zwar viel Potential bieten, dass diese Systeme aus technischer Sicht zurzeit jedoch noch nicht in Serienfahrzeugen genutzt werden können. Eine Erfassung der Kopforientierung ist zwar realisierbar, eine Schätzung des tatsächlichen visuellen Fokus des Fahrers darauf basierend ist jedoch nur teilweise möglich. Dementsprechend ist fraglich, inwieweit ein Spurhalteassistenzsystem adaptiv gestaltet werden könnte, wenn die Schätzung der Aufmerksamkeitsausrichtung über die Kopforientierung des Fahrers erfolgt.

#### **8.1.1. Forschungsstand**

In der Literatur finden sich drei Studien, die dieses Thema behandeln. Zwei Veröffentlichungen (Brown, Marshall, Moeckli und Smyser 2007; LeBlanc, Eby, Bareket und Vivoda 2008) stammen aus dem SAVE-IT Projekt. Brown et al. (2007) untersuchten im Simulator die Wirksamkeit und Akzeptanz gegenüber einer Kombination aus einem

„Forward Collision Warning“- und einem LDW-System, für die beide der Warnzeitpunkt an den Fahrerzustand angepasst wurde. Die Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers wurde über eine Kopforientierungskamera geschätzt. Wurde der Fahrer als unaufmerksam eingestuft, erfolgten die Warnungen des Systems früher (Adaptions-Strategie: *dynamischer Warnzeitpunkt*). Die Probanden führten während der Fahrt Aufgaben am Infotainment-System des Fahrzeugs durch. Während dieser Situationen kam es teilweise zu Auffahrwarnungen sowie zu Spurverlassenswarnungen (induziert durch einen simulierten Windstoß). Eine Analyse hinsichtlich eines objektiven Sicherheitsgewinns (minimale TLC, Dauer der Spurabweichung, etc.) und einer subjektiven Akzeptanzsteigerung zeigte keinerlei Vorteil der adaptiven Variante. Brown et al. (2007) schlussfolgerten aufgrund dessen, dass ein adaptives System keinen Vorteil gegenüber einem „Standard“-LDW-System erbringe.

Die Gründe für einen fehlenden Vorteil der adaptiven Variante innerhalb dieser Studie könnten jedoch auch im Versuchsdesign begründet liegen. Das Experiment wurde im Fahrsimulator und nicht im realen Straßenverkehr durchgeführt. Damit ist fraglich, inwieweit die Versuchssituation aus Perspektive der Fahrer als realistisch angesehen werden kann. Auch die Induzierung des Spurabkommens durch einen simulierten Windstoß ist nicht unbedingt ein typisches Szenario. Weiter war der Versuch recht kurz. Die Probanden hatten vier Minuten Zeit, sich an den Simulator zu gewöhnen und begannen dann mit der dreißigminütigen Testfahrt. Möglicherweise bestand damit nicht genügend Zeit, sich an das System zu gewöhnen und Systemvertrauen aufzubauen.

LeBlanc et al. (2008) untersuchten ebenfalls im Rahmen des SAVE-IT Projekts ein Fahrerzustands-adaptives LDW- und FCW-System. Im Gegensatz zu ihren Kollegen veränderten sie aber nicht das Timing des LDW-Systems, sondern unterdrückten Warnungen, wenn die Kopforientierung des Fahrers darauf deuten ließ, dass dieser auf die Straße schaute (Adaptions-Strategie: *adaptive Warnungsauslösung*). Dabei wurde der Fahrer als „aufmerksam“ klassifiziert beziehungsweise eine Warnung unterdrückt, wenn der Kopf mindestens zwei Sekunden vor der potentiellen Warnung einen entsprechend geringen Heading-Winkel (Rotation um die Hochachse) aufwies.

Daten wurden auf einer Teststrecke und im öffentlichen Straßenverkehr erhoben. Auf der Teststrecke traten insgesamt 103 Spurverlassenswarnungen auf, wobei sich zehn während der Fahrt mit der adaptiven Variante und 93 während der Fahrt mit der nicht-adaptiven Variante ereigneten. Bei näherer Betrachtung der zehn Warnungen im adaptiven Modus führten die Autoren weitere acht Warnungen auf ein fehlerhaftes Kopftracking zurück, so dass bei besserer Trackingperformance eine noch höhere Reduktion hätte erreicht werden können. Zusammenfassend ist damit zu sagen, dass durch die adaptive Warnungsauslösung ein deutlicher objektiver Nutzen in Form einer Reduktion unnötiger Warnungen erzielt wurde.

Inwieweit Fahrer diesen Nutzen auch wahrnahmen, wurde im realen Straßenverkehr näher untersucht. Im Rahmen der subjektiven Beurteilung wurde das LDW-System in beiden Varianten als positiv bewertet. Eine bessere globale Beurteilung des adaptiven Systems gegenüber dem nicht-adaptiven System hinsichtlich Nützlichkeit und Zufriedenheit konnte aber nicht festgestellt werden. Eine detailliertere Analyse konnte zumindest Vorteile des adaptiven Systems dahingehend aufzeigen, dass Warnungen als weniger störend und häufiger als angemessen erlebt wurden.

Pohl, Birk und Westervall (2007) machten den Eingriff eines HC-Systems von einer über die Kopforientierung erfassten Aufmerksamkeitsausrichtung abhängig. Im Gegensatz zu LeBlanc et al. (2008) wurden die Eingriffe nicht unterdrückt, wenn der Fahrer seine Aufmerksamkeit auf die Straße richtete, sondern wurden nur dann initiiert, wenn der Fahrer kurz vor Überfahren der Linie als unaufmerksam klassifiziert wurde (Adaptions-Strategie: *adaptive Warnungsauslösung*). Eine Unterscheidung hinsichtlich des Aufmerksamkeitsgrades wurde über die Kopfvektor-Durchstoßpunkte innerhalb eines Fahrzeugmodells berechnet. Hierbei ergab sich aus der unterschiedlichen Gewichtung verschiedener Bereiche (Windschutzscheibe, Kombiinstrument, Armaturenbrett) und der Berücksichtigung des zeitlichen Verlaufs der Kopforientierung ein Aufmerksamkeitslevel. War dieser Level entsprechend hoch und drohte das Fahrzeug die Fahrspur zu verlassen, wurde ein Lenkmoment erzeugt, das dem Fahrer half, das

Fahrzeug in Richtung Spurmitte zurückzulenken. Die entsprechenden Versuchsfahrten fanden auf einem abgesperrten Testgelände statt. Eine subjektive Beurteilung des Systems erfolgte im Rahmen der Studie nicht. Die Analyse der Systemeingriffe und Spurverlassensereignisse zeigte aber, dass das System keine falsch-positiven Eingriffe<sup>5</sup> ausführte. Aufgrund von Verfügbarkeitsproblemen der Kopforientierung in unterschiedlichen Lichtbedingungen ergaben sich jedoch eine Reihe falsch-negativer Klassifikationen, bei denen trotz Notwendigkeit kein Systemeingriff erfolgte. Abschließend folgerten Pohl et al. (2007), dass eine Kopferfassung im Vergleich zu einem Tracking der Augenbewegungen ausreichend für eine Aufmerksamkeitsschätzung im Rahmen einer Adaption von Querführungsassistenten sei.

### 8.1.2. Diskussion

Die eigenen Untersuchungen lassen Zweifel an dieser Aussage aufkommen. Zwar bleiben falsch vorhergesagte Blickabwendungen unbemerkt, wenn kein Spurverlassen festzustellen ist, da in diesem Fall auch kein Systemeingriff erfolgt. Die fehlende Erkennung einer Ablenkung bei einem Spurverlassen ist jedoch problematisch. Auch wenn Pohl et al. (2007) darauf hinweisen, dass eine Kopforientierung zur Aufmerksamkeitsschätzung ausreichend ist, kann sich dies nur auf die dort genutzten Ablenkungen beziehen. Bedientätigkeiten am Infotainment-System sind kaum über die Kopforientierungen zu erfassen (vgl. Kapitel 3.3), können aber zu Spurverlassensereignissen führen (vgl. Kapitel 4.2.1). Das heißt, ein Fahrer, der durch eine Infotainment-Bedienung von der Straße abkommt, würde vermutlich über eine Kopforientierungserfassung als „aufmerksam“ klassifiziert. Sowohl bei Leblanc et al. (2008) als auch bei Pohl et al. (2007) würde die Warnung durch das Assistenzsystem unterdrückt und das in einer Situation, in der der Fahrer Unterstützung benötigt. Dies zeigt klar, dass die Adaption-Strategie *adaptive Warnungsauslösung* nur dann sinnvoll ist, wenn die Zuverlässigkeit der Ablenkungsschätzung sehr hoch ist. Bei einer

---

<sup>5</sup> Der Fahrer wird als abgelenkt klassifiziert und ein Systemeingriff initiiert, obwohl der Fahrer aufmerksam ist.

Ablenkungsschätzung über die Kopforientierung ist dies zu bezweifeln. Aufgrund der beschriebenen Studien in Kapitel 3.2 ist aber davon auszugehen, dass mit Hilfe einer Blickerfassung die Aufmerksamkeitsausrichtung der Fahrer besser erfasst werden kann. Damit ist deren Einsatz in Kombination mit dieser Warnstrategie sicherlich vorzuziehen. Ein weiteres Problem, das auch bei einer Blickerfassung nicht gelöst werden kann, ist der Ausfall des Trackings. Bei videobasierten Systemen besteht das Problem, dass durch eine Verdeckung der Kamera oder, wie bei Pohl et al. (2007) berichtet, durch Sonneneinstrahlung oder wechselnde Lichtbedingungen kein permanentes Tracking des Fahrers möglich ist. Damit muss entschieden werden, was in solchen Fällen geschieht. Bei Pohl et al. (2007) wurde der Fahrer als aufmerksam klassifiziert, sobald kein Tracking möglich war. Dies ist sicherlich nicht der beste Weg, da somit jede Warnung unterdrückt wird, obwohl keinerlei Informationen über den Fahrer vorliegen. Es erscheint daher bei Trackingverlust sinnvoll, immer eine Warnung bei Überfahren der Linie auszulösen. Diese Entscheidung ist letztendlich davon abhängig, wie oft es zu einem Trackingausfall kommt. Dementsprechend muss je nach Einbauort der Kamera und einer detaillierten Betrachtung des Ausmaßes des Trackingausfalls über ein Vorgehen entschieden werden.

Die Erkenntnisse aus den beschriebenen Studien zeichnen noch kein vollständiges Bild. Die Nutzung *dynamischer Warnzeitpunkte* in einem LDW-System, das die Aufmerksamkeit des Fahrers über die Kopforientierung schätzt, zeigt keinen signifikanten Sicherheitsgewinn gegenüber einem „Standard“-LDW (Brown et al. 2007). Mögliche Gründe dafür könnten aber im Versuchsdesign liegen.

LeBlanc et al. (2008) zeigen, dass durch eine kopfbasierte *adaptive Warnungsauslösung* 88 % der Fehlwarnungen vermieden werden können. Dieser objektive Vorteil äußerte sich zwar in einer guten, aber nur tendenziell in einer besseren subjektiven Beurteilung. Ähnliche positive Erwartungen hinsichtlich des objektiven Nutzens äußern Pohl et al. (2007) aufgrund ihrer Ergebnisse. Diese Ergebnisse zeigen damit klar den Vorteil einer solchen Anpassung von Spurhalteassistenten. Problematisch ist jedoch, dass über eine Kopforientierung nicht alle Ablenkungen erkannt werden können und aufgrund dessen



die Gefahr besteht, notwendige Spurverlassenswarnungen zu unterdrücken. Daher erscheint nur eine genauere Erfassung der Blicke in Kombination mit der Adaptions-Strategie *adaptive Warnungsauslösung* sinnvoll. Dies sollte wie bei Leblanc et al. (2008) zu einer starken Reduktion von Fehlwarnungen führen und gleichzeitig die Anzahl nicht erkannter Ablenkungen reduzieren.

## **8.2. Erfassung von Nebentätigkeiten zur Anpassung von Spurhalteassistenzsystemen**

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit den Möglichkeiten, ein Spurhalteassistenzsystem über eine direkte Erfassung von Nebentätigkeiten anzupassen. Wie in Kapitel 4 erfolgt zunächst eine Diskussion im Hinblick auf eine Erfassung der Körperteile des Fahrers (Kapitel 8.2.1). Im Rahmen eines eigenen Experiments wird dann die Verwendbarkeit der Informationen über eine Bedienung des Multimedia Interfaces dargestellt (Kapitel 8.2.2).

### **8.2.1. Tracking von Körperteilen des Fahrers**

In Kapitel 4.1 wurde diskutiert, ob über ein Tracking von Körperteilen des Fahrers Rückschlüsse auf seine Aufmerksamkeitsausrichtung gemacht werden können. Dabei wurde dargelegt, dass es, obwohl technisch vermutlich möglich, bislang kaum entsprechende Untersuchungen gibt. Damit einhergehend können nur theoretische Überlegungen hinsichtlich einer Nützlichkeit dieser Informationen zur Anpassung von Spurhalteassistenzsystemen gemacht werden.

Über ein solches Tracking-System können nicht direkt Ablenkung oder die Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers erfasst werden. Es sollte aber möglich sein, stark vom Normverhalten abweichende Körperhaltungen zu erkennen (zum Beispiel ein Greifen in das Handschuhfach). Je nach Stellung der Extremitäten kann davon ausgegangen werden, dass der Fahrer nicht zu einer sicheren Führung des Fahrzeugs in der Lage ist. In solchen Situationen wird das System vermutlich auch einem

Blickerfassungssystem überlegen sein, das bei größeren Körperbewegungen die Augen des Fahrers nicht mehr erfassen kann und somit keine Aussage über die Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers zu leisten vermag.

Mit Hilfe eines Körpertrackings ist aber keine vollständige Erfassung der Nebentätigkeiten eines Fahrers möglich. Ein solches System kann weder permanent überwachen, ob der Fahrer aufmerksam ist, noch ob er unaufmerksam ist. Damit sind auch die Möglichkeiten zur Adaption von Spurhalteassistenzsystemen begrenzt. Eine Nutzung der Adaptions-Strategie *adaptive Warnungsauslösung* ist ausgeschlossen. Die einzig denkbare Anpassung wäre, bei Erkennung einer stark untypischen Körperhaltung schon bei einer größeren „time-to-line-crossing“ durch ein HC-System zu unterstützen (Adaptions-Strategie: *dynamischer Warnzeitpunkt*). Damit würde der Fahrer direkt in der kritischen Situation entlastet.

Bevor weitere dahingehende Diskussionen geführt werden, bedarf es zusätzlicher Studien. Dabei muss näher betrachtet werden, über welche technische Realisierung die Körperhaltung im Fahrzeug bestmöglich erfasst werden kann. Darauf aufbauend kann untersucht werden, welche Körperhaltungen Fahrer während alltäglicher Fahrten annehmen und inwieweit von untypischen Körperhaltungen auf die Durchführung von Nebentätigkeiten und eine eingeschränkte Fähigkeit zur sicheren Führung des Fahrzeugs geschlossen werden kann.

#### **8.2.2. Anpassung an Bedientätigkeiten (Studie 4)**

Eine weitere Möglichkeit zur Schätzung der Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers besteht darin, Bedientätigkeiten im Fahrzeug zu überwachen. Wie in Kapitel 4.2 beschrieben, ist bei einer Bedienung des Infotainment-Systems von einer hohen Beanspruchung kognitiver Ressourcen auszugehen. An dieser Stelle ergibt sich jedoch eine Frage hinsichtlich der Anpassung des Spurhalteassistenzsystems. Aufgrund einer Infotainment-Bedienung kann zwar von einer Beanspruchung, aber noch nicht von einer Ablenkung des Fahrers ausgegangen werden. Denn es ist auch denkbar, dass Fahrer trotz der Infotainment-Bedienung noch ausreichend Kapazitäten haben, um das

Spurverlassen zu verhindern. Dies ist umso bedeutender, bedenkt man die interindividuell unterschiedlichen Beanspruchungen durch eine Infotainment-Bedienung (Mourant et al. 2000; Wikman et al. 1998; Green 2007).

Daher ist hier fraglich, ob eine verstärkte Spurhalteunterstützung bei einer Infotainment-Bedienung akzeptiert wird. In der Literatur sind diesbezüglich keine Informationen zu finden, so dass eine eigene Studie durchgeführt wurde.

#### **8.2.2.1. Akzeptanz und objektiver Nutzen einer adaptiven Spurhalteassistentz**

Die erste Fragestellung des Experiments lautete:

*„Akzeptieren Fahrer eine verstärkte Spurhalteunterstützung, wenn sie durch eine Infotainment-Bedienung beansprucht sind?“*

Neben diesem subjektiven Urteil wurde in dem Experiment noch eine weitere, damit verwandte Fragestellung untersucht. Die in Kapitel 8.1 beschriebenen Ergebnisse der Studie von Brown et al. (2007) zeigten keine Verbesserung der Spurführung durch ein LDW-System mit *dynamischem Warnzeitpunkt* im Vergleich zu einem normalen LDW-System. Die Gründe dafür könnten aber im ungünstigen Versuchsdesign liegen. Daher wurde neben der subjektiven Einschätzung auch eine zweite Fragestellung hinsichtlich des objektiven Nutzens berücksichtigt:

*„Kann durch einen dynamischen Warnzeitpunkt eines Spurhaltesystems ein objektiver Sicherheitsgewinn erzielt werden?“*

Um beide Fragen beantworten zu können, galt es, ein möglichst realistisches Versuchssetting aufzustellen. Daher wurde ein Experiment im Realverkehr durchgeführt, bei dem die Teilnehmer unterschiedliche Grade an Spurhalteassistentz während einer Infotainment-Bedienung erhielten. Für jeden Grad an Unterstützung wurden sowohl

subjektive als auch objektive Messgrößen erhoben und anschließend statistisch ausgewertet.

### 8.2.2.1.1. Versuchsteilnehmer

30 Probanden (25 Männer, 5 Frauen) im Alter zwischen 30 und 65 Jahren ( $\bar{x}$  46,0 Jahre) wurden für die Untersuchung angeworben. Dabei wurden nur Probanden ausgewählt, deren Fahrleistung innerhalb der letzten zwölf Monate bei mindestens 10.000 km lag.

### 8.2.2.1.2. Versuchsträger

Als Versuchsfahrzeug diente ein Audi A3 Sportback. Eine hinter dem Innenspiegel angebrachte Videokamera (CMOS), ausgerüstet mit automatischer Belichtungssteuerung und einem Öffnungswinkel von  $31^\circ$ , diente der Fahrspurerkennung. Das Fahrzeug war außerdem mit einer elektromechanischen Lenkunterstützung ausgestattet, über die Lenkmomente am Lenkrad des Fahrzeugs erzeugt werden konnten. Drei Heading-Control-Varianten mit unterschiedlichem Unterstützungsgrad wurden durch die Audi AG implementiert. Diesen Varianten war gemeinsam, dass sie Lenkmomente mit einer maximalen Kraft von 3 Nm in Richtung Spurmitte am Lenkrad generierten. Die Unterschiede zwischen den Varianten lagen in den Lenkmomentcharakteristiken, die in Abbildung 8.2 dargestellt sind.

In der Variante „Späte Assistenz“ (Abbildung 8.2a) erfolgte ein Systemeingriff erst kurz vor dem Überfahren der Spurmarkierung. In der Spurmitte leistete das System keinerlei Unterstützung. Die eigentliche Regelung ist dabei recht komplex. Zum besseren Verständnis kann vereinfacht davon ausgegangen werden, dass ein Eingriff etwa in 25 cm Entfernung zur Spurmarkierung einsetzte. Diese Variante stellt vom Eingriffszeitpunkt her ein „Standard“-HC-System dar, wie es beispielsweise bei Volkswagen im Passat CC schon heute eingesetzt wird.

Die Variante „Frühe Assistenz“ (Abbildung 8.2b) war ähnlich der Variante „Späte Assistenz“. Einziger Unterschied war eine dahingehende Umparametrierung des Systems, so dass die Eingriffe früher begannen, also in etwa bei einer Entfernung von ca. 40 cm zur Fahrspurbegrenzungslinie. Diese Variante stellt einen ersten Grad verstärkter Spurhalteunterstützung dar.

In der Variante „Kontinuierliche Assistenz“ (Abbildung 8.2c) regelte das System permanent in Richtung Fahrspurmitte. Diese Variante stellt ein Maximum an Querführungsunterstützung dar.

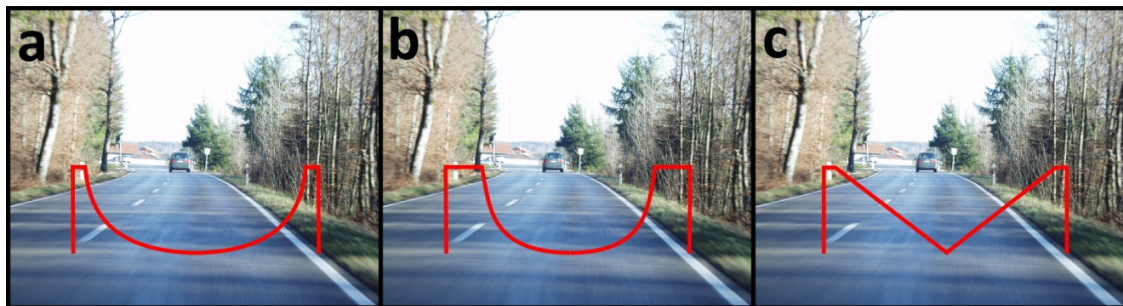


Abbildung 8.2: Lenkmomentcharakteristiken der HC-Varianten im Versuchsträger

a) Späte Assistenz, b) Frühe Assistenz, c) Kontinuierliche Assistenz

Das HC-System konnte vom Fahrer über einen am Blinker angebrachten Knopf ein- und ausgeschaltet werden. Der Status des Systems wurde über LEDs im Kombiinstrument des Fahrzeugs angezeigt. Die jeweilige Heading-Control-Variante wurde am Messrechner des Versuchsleiters im Fond des Wagens gewählt. Mit der auf diesem Rechner installierten Software CANape (Vector Informatik GmbH) wurden die CAN-Bus Daten aufgezeichnet. Als eine weitere Besonderheit konnte der Versuchsleiter per Tastendruck die Ausgabe von Lenkmomenten komplett unterdrücken, ohne dass dies durch die Status-LEDs angezeigt wurde. Diese Funktion war für die Untersuchung hinsichtlich negativer Verhaltensanpassungen notwendig, auf die in Kapitel 9 näher eingegangen wird.

Das Fahrzeug war außerdem mit einem Infotainment-System (MMI) ausgestattet. Das Display des MMI befand sich in der Mittelkonsole, der Dreh-Drücksteller war direkt neben dem Display angeordnet. Das Cockpit des Versuchsträgers ist in Abbildung 8.3 dargestellt.



Abbildung 8.3: Versuchsträger im Versuch „Heading-Control“

### 8.2.2.1.3. Versuchsstrecke

Als Versuchsstrecke diente eine Landstraße. Von einem definierten Startpunkt bis zum Messendpunkt hatte die Strecke eine Länge von 2,4 km. Als Richtgeschwindigkeit wurden 80km/h vorgegeben. Die Strecke war leicht kurvig, so dass bei Unaufmerksamkeit ein Abweichen von der Fahrspurmitte zu erwarten war. Die Breite der Fahrspur variierte zwischen 2,90 und 3,35 Metern.

#### 8.2.2.1.4. Versuchsablauf und -design

Das geschilderte Experiment diente zwei Themenkomplexen. Zum einen galt es, eine Beurteilung bezüglich des Nutzens und der Akzeptanz gegenüber einem Fahrerzustands-adaptiven HC-System zu ermitteln (Themenkomplex 1). Die Ergebnisse dazu werden in diesem Kapitel dargestellt.

Als ein zweiter Bereich wurden Messungen hinsichtlich negativer Verhaltensanpassungen an ein HC-System durchgeführt (Themenkomplex 2). Diesbezügliche Ergebnisse werden in Kapitel 9 dargestellt.

Die Probanden erhielten nach einer Befragung zu ihren demographischen Daten zunächst eine Einweisung in das Versuchsfahrzeug. Währenddessen wurde auch eine ablenkende Nebenaufgabe (Eingabe einer Telefonnummer am Infotainment-System des Fahrzeugs) geübt. Nach dieser Einweisung erläuterte der Versuchsleiter die Funktionsweise des HC-Systems und gab den Probanden Gelegenheit, das HC-System ausgiebig auf der Autobahn zu testen. Nach Abschluss der freien Testphase befuhren die Probanden zweimal eine definierte Strecke (jeweils etwa eine Stunde) mit unterschiedlichen HC-Ausprägungen. Im Anschluss daran wurde der beschriebene Landstraßenabschnitt angefahren, auf dem die Messdaten erhoben wurden.

Für die Untersuchung wurde ein Messwiederholungsdesign gewählt. Jede Versuchsperson befuhr die Strecke sechs Mal in gleicher Richtung.

Während der ersten fünf Fahrten wurden in randomisierter Reihenfolge die in Tabelle 6 dargestellten Bedingungen erzeugt. Über dieses Vorgehen war es möglich, den objektiven Nutzen und die Akzeptanz gegenüber unterschiedlichen Graden an HC-Unterstützung und im Vergleich zu einer Fahrt mit Nebentätigkeit aber ohne HC-Unterstützung statistisch zu testen (Themenkomplex 1). Die sechste und letzte Fahrt diente dem Themenkomplex 2, auf den in Kapitel 9 näher eingegangen wird.

Tabelle 6: Versuchsbedingungen zur Erfassung des Nutzens und der Akzeptanz bei unterschiedlicher Querführungsunterstützung

Bedingung	Fahrerzustand	HC-Variante
Baseline	aufmerksam	HC deaktiviert
Keine Assistenz	abgelenkt	HC deaktiviert
Späte Assistenz	abgelenkt	HC „spät“ aktiviert
Frühe Assistenz	abgelenkt	HC „früh“ aktiviert
Kontinuierliche Assistenz	abgelenkt	HC „kontinuierlich“ aktiviert

Als ablenkende Tätigkeit wurde die Eingabe einer Telefonnummer in das Infotainment-System des Fahrzeugs gewählt. Die zu wählende Telefonnummer wurde auf dem Armaturenbrett angebracht (vgl. Abbildung 8.3). Um Lerneffekte durch Kenntnis der Telefonnummer zu vermeiden, wurden mehrere Telefonnummern mit unterschiedlichen Startziffern generiert, deren Eingabeschritte aber identisch waren (zum Beispiel 2 Klicks rechts, 3 Klicks links, 3 Klicks links, usw.).

Während der Fahrten wurden an einem PC im Fond des Wagens die CAN-Bus Daten erfasst. Nach jeder Fahrt wurden die Probanden im Rahmen der subjektiven Beurteilung gebeten, auf einer fünfstufigen Likert-Skala anzugeben, wie stark sie sich durch die Variante unterstützt gefühlt haben („störend“ bis „hilfreich“) und wie sich diese auf die Sicherheit ausgewirkt hat („reduziert“ bis „erhöht“).

#### 8.2.2.1.5. Ergebnisse

##### *Objektiver Nutzen der HC-Varianten*

Als Maß für den objektiven Nutzen der HC-Varianten wurde wie in Kapitel 4.2.1.2 für jede einzelne Fahrt die maximale Querabweichung von der Spurmitte berechnet. Abbildung 8.4 zeigt die mittleren maximalen Querabweichungen von der Spurmitte für die einzelnen Bedingungen.



Mit Hilfe einer Varianzanalyse mit Messwiederholung wurden Unterschiede in der Spurhaltequalität untersucht. Dabei fanden sich signifikante Unterschiede ( $F=10.086$ ,  $df = 4$ ,  $p<0.001$ ). Ein Bonferroni post-hoc Test (adjustiertes  $\alpha$ ) zeigte signifikante Unterschiede zwischen der Baseline-Bedingung und der „Keine Assistenz“-Bedingung. Weitere Tests zeigten signifikant kleinere Spurabweichungen in den Bedingungen „Frühe Assistenz“ und „Kontinuierliche Assistenz“ im Vergleich zur Bedingung „Keine Assistenz“.

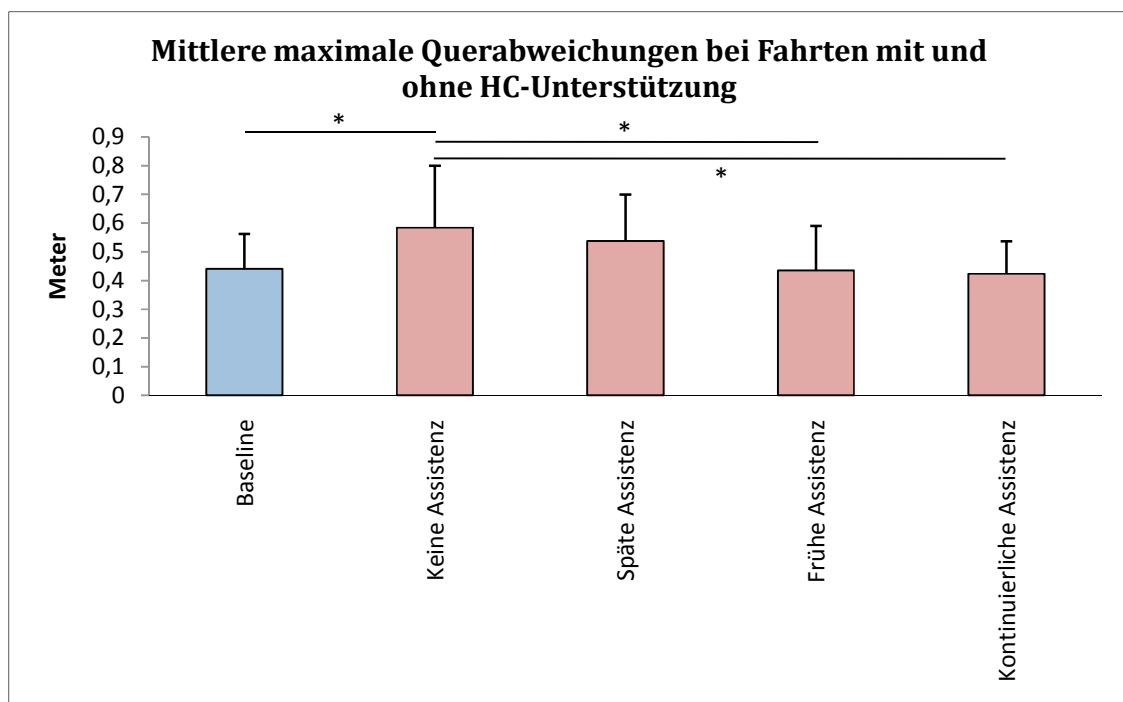


Abbildung 8.4: Mittlere maximale Querabweichung bei unterschiedlicher Querführungsunterstützung

Der signifikante Unterschied zwischen der Bedingung „Keine Assistenz“ und der „Baseline“-Bedingung zeigt erneut den ablenkenden Charakter einer Infotainment-Bedienung (vgl. Kapitel 4.2.1.2). Um beantworten zu können, wie hilfreich eine Unterstützung einer HC-Variante ist, bietet sich ein Vergleich zwischen der Fahrt mit Nebentätigkeit aber ohne Assistenz („Keine Assistenz“) und den Fahrten mit HC-Unterstützung an, während derer die Fahrer abgelenkt waren. Die post-hoc Tests zeigten signifikante Unterschiede für die Bedingungen „Frühe Assistenz“ und

„Kontinuierliche Assistenz“ zur Bedingung „Keine Assistenz“. Damit wird deutlich, dass die Probanden die Unterstützung des Systems nutzen konnten. Betrachtet man Abbildung 8.4, deutet sich auch ein Trend bei der Variante „Späte Assistenz“ an. Auch wenn dieser Effekt nicht signifikant wird, könnte diese Unterstützung in Situationen, in denen der Fahrer stark von der Spur abweicht, hilfreich sein.

Als weiteres Maß wurden die Spurverlassensereignisse gezählt. Hierbei wurde ein Ereignis als Spurverlassen gewertet, wenn ein Teil des Versuchsfahrzeugs die äußere Kante einer Spurmarkierung überfuhr. Tabelle 7 zeigt die Anzahl der Spurverlassensereignisse auf der Landstraße innerhalb der einzelnen Bedingungen.

Tabelle 7: Anzahl der Spurverlassensereignisse bei unterschiedlichen Graden an Spurhalteunterstützung

Bedingung (auswertbare Testläufe)	Spurverlassensereignisse
Baseline (27)	0
Keine Assistenz (29)	3
Späte Assistenz (22)	0
Frühe Assistenz (23)	0
Kontinuierliche Assistenz (20)	0

Lediglich in der Bedingung „Keine Assistenz“ fanden sich Spurverlassensereignisse. Da sich in der Variante „Späte Assistenz“ keine Spurverlassensereignisse fanden, könnte geschlussfolgert werden, dass auch diese einen Nutzen hat. Dies könnte jedoch auch auf einen Bodeneffekt zurückzuführen sein.

Die Ergebnisse zeigen deutlich die objektive Wirksamkeit früh eingreifender Spurhalteassistenzsysteme beziehungsweise den Nutzen, der mit einem *dynamischen Warnzeitpunkt* verbunden ist. Mit zunehmender Assistenz wurde auch die Spurführung

besser, was zeigt, dass die Fahrer die „Unterstützung“ des Systems nutzten und es nicht übersteuerten.

Es kann nicht klar entschieden werden, warum Brown et al. (2007) keine Vorteile eines Spurhalteassistenzsystems mit *dynamischem Warnzeitpunkt* feststellen konnten. Von technischer Seite betrachtet, nutzten diese ein LDW-System, während hier ein HC-System verwendet wurde. Da sich kein logischer Grund für einen diesbezüglichen Vorteil des HC-Systems ergibt, sind die Unterschiede wahrscheinlich auf das Versuchssetting zurückzuführen. In der eigenen Studie wurde ein realistisches Versuchsdesign erzeugt. Die Fahrten fanden im realen Verkehr statt und auch die Ablenkung durch die Nebentätigkeit war nachweislich gegeben. Zudem bestand ausreichend Gelegenheit, sich an die Funktionsweise des Systems zu gewöhnen und Systemvertrauen aufzubauen. Es ist zu vermuten, dass die Probanden bei Brown et al. (2007) aufgrund der Kürze des Versuches genau dies nicht konnten. Ohne ein entsprechendes Systemvertrauen ist zu erwarten, dass Warnungen teilweise ignoriert werden (vgl. Zabysny und Ragland 2003).

Abschließend zeigen die Ergebnisse, dass durch einen *dynamischen Warnzeitpunkt* eines Spurhaltesystems ein objektiver Sicherheitsgewinn erzielt werden kann. In einem weiteren Schritt muss jedoch auch die subjektive Bewertung berücksichtigt werden.

#### *Subjektive Beurteilung der HC-Varianten*

Die subjektive Beurteilung der einzelnen HC-Varianten durch die Fahrer erfolgte direkt nach der jeweiligen Messfahrt. Die Fahrer sollten auf zwei fünfstufigen Likert-Skalen bewerten, inwieweit die Variante einen Einfluss auf die Wahrnehmung der Sicherheit hatte (1 = „reduziert“ bis 5 = „erhöht“) beziehungsweise in der Situation unterstützte (1 = „störend“ bis 5 = „hilfreich“).

Tabelle 8 zeigt die deskriptive Statistik eines t-Tests gegen den Mittelpunkt (3) der Skala Sicherheit. Es wird deutlich, dass bei allen Varianten ein Sicherheitsgewinn wahrgenommen wird. Paarweise Vergleiche (t-Tests für abhängige Stichproben) zeigen

einen signifikanten Unterschied der „Frühen“ und „Kontinuierlichen Assistenz“ gegenüber der „Späten Assistenz“.

Tabelle 8: Deskriptive Statistik und p-Werte der Skala „Sicherheit“

	<b>Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>	<b>Signifikanz (2-seitig)</b>
Späte Assistenz	3.62	0.740	0.001
Frühe Assistenz	4.10	0.944	< 0.001
Kontinuierliche Assistenz	4.38	0.973	< 0.001

Tabelle 9 zeigt die deskriptive Statistik eines t-Tests gegen den Mittelpunkt (3) der Skala Unterstützung. Es wird deutlich, dass alle Varianten als unterstützend angesehen werden. Paarweise Vergleiche (t-Tests für abhängige Stichproben) zeigen einen signifikanten Unterschied der „Frühen“ und „Späten Assistenz“ gegenüber der „Kontinuierlichen Assistenz“.

Tabelle 9: Deskriptive Statistik und p-Werte der Skala „Unterstützung“

	<b>Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>	<b>Signifikanz (2-seitig)</b>
Späte Assistenz	4.27	0.647	< 0.001
Frühe Assistenz	4.15	1.089	< 0.001
Kontinuierliche Assistenz	4.67	0.913	< 0.001

Diese Ergebnisse machen deutlich, dass eine verstärkte Spurhalteassistentz während einer Infotainment-Bedienung von den Fahrern als gut bewertet wird. Alle Varianten werden positiv dahingehend beurteilt, dass sie die Sicherheit erhöhen und hilfreich sind. Ein Blick auf die Paarvergleiche zeigt, dass die „Frühe“ und die „Kontinuierliche Assistenz“ hinsichtlich eines Sicherheitsgewinns noch besser bewertet werden als die

Variante „Spät“. Bezüglich der Nützlichkeit wird die „Kontinuierliche Assistenz“ besser bewertet als die beiden anderen Varianten. Letztendlich lässt der Trend in den Daten vermuten, dass sich Fahrer in einer Ablenkungssituation möglichst viel Unterstützung durch ein HC-System wünschen.

Auch an dieser Stelle decken sich die eigenen Ergebnisse erneut nicht mit den Ausführungen von Brown et al. (2007), die keine subjektiv bessere Beurteilung hinsichtlich einer verstärkten Spurhalteassistentz finden konnten. Auch hier ist davon auszugehen, dass das Versuchsdesign bei Brown et al. (2007) für die fehlenden Unterschiede verantwortlich ist.

#### 8.2.2.1.6. Diskussion

Es ist offensichtlich, dass alltägliche Infotainment-Bedienungen Fahrer beanspruchen und Auswirkungen auf die Spurhaltung haben können. Daher ist es naheliegend, ein Spurhalteassistentzsystem so anzupassen, dass während einer Bedienung eine stärkere Unterstützung erfolgt. Das Experiment konnte zeigen, dass Fahrer, trotz einer nur teilweisen Beanspruchung, eine solche Unterstützung akzeptieren und es sowohl als Entlastung als auch als Sicherheitsgewinn wahrnehmen. Aufgrund dieser Ergebnisse wäre es zunächst auch denkbar, permanent eine stärkere Querführungsassistentz als die Standard- beziehungsweise „späte“ Unterstützung zu leisten. Denn damit scheint ein höherer objektiver und subjektiver Sicherheitsgewinn einherzugehen. Es muss aber berücksichtigt werden, dass hier nur Situationen betrachtet wurden, während derer die Fahrer abgelenkt waren. Würde ein System permanent im Modus „früh“ arbeiten, würde es auch deutlich häufiger während aufmerksamer Fahrt eingreifen. Möglicherweise ist ein HC-System nicht derart störend wie ein LDW-System (vgl. Buld et al. 2002), jedoch ist auch hier von einem Eingriff in die Souveränität des Fahrers auszugehen, der negativ beurteilt werden wird (vgl. Kompass und Huber 2007). Dementsprechend erscheint es sinnvoll, den *Warnzeitpunkt* für ein Spurhalteassistentzsystem *dynamisch* zu gestalten und auf die Variante „früh“ oder „kontinuierlich“ umzuschalten, wenn das Infotainment-System des Fahrzeugs bedient

wird. Wenn keine Bedienung festzustellen ist, wird als Standard die Variante „spät“ gewählt. Den Ergebnissen in Kapitel 4.2 nach sollte eine Anpassung des Warnzeitpunkts mit Beginn einer Bedienung folgen. Dabei ist die Art der Bedienhandlung selbst, also ob eine Navigationseingabe erfolgt oder eine Telefonnummer gewählt wird, nicht bedeutsam. Sollte ein Beifahrer im Fahrzeug sitzen (über die Sitzbelegungserkennung erfassbar), kann nicht entschieden werden, ob dieser das Infotainment-System bedient. Auch wenn Sacher (2009) darauf hinweist, dass der Fahrer meistens selbst bedient, könnte in diesem Falle eine Anpassung ausbleiben, um den Fahrer nicht durch eine unerwartete verstärkte Spurhalteunterstützung zu irritieren.

Eine Anpassung in Form einer *adaptiven Warnungsauslösung* nur auf Basis einer Infotainment-Bedienung ist nicht denkbar. Basierend auf dieser Information kann weder permanent sichergestellt werden, dass der Fahrer aufmerksam, noch dass er abgelenkt ist (vgl. Argumentation in Kapitel 8.1).

Es existieren noch weitere Bedienelemente beziehungsweise Funktionen im Fahrzeug, über die eine Aufmerksamkeitsabwendung von der Straße erkannt werden könnte. Für die Bedienung entsprechender Schalter wie zum Beispiel das Licht oder den Scheibenwischer werden die Blickabwendungen recht kurz sein (vgl. Kapitel 3.1). Dementsprechend ist an dieser Stelle kein Nutzen für eine Spurhalteassistenten zu erwarten. Gleiches gilt für rein kognitive Belastungen des Fahrers (zum Beispiel erfasst über die Aktivität der Freisprechanlage), bei der keine Auswirkungen auf die Spurhaltung zu erwarten sind.

Auch wenn Infotainment-Bedienungen nur einen kleinen Teil möglicher Nebentätigkeiten während des Autofahrens ausmachen, ist die beanspruchende Wirkung nicht zu verleugnen. Da eine Anpassung eines Spurhalteassistentensystems daran eine leicht zu realisierende Möglichkeit darstellt und einen entsprechenden subjektiven und objektiven Gewinn erbringt, ist es wünschenswert, eine solche Funktion zukünftig bei Spurhalteassistenten zu integrieren.

### **8.3. Fahreraufmerksamkeitsschätzung per Fahrzeugdaten zur Anpassung von Spurhalteassistenzsystemen**

Wie schon in Kapitel 5 dargestellt, existieren bislang kaum Studien, die die Möglichkeit einer Schätzung der Ablenkung beziehungsweise der Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers basierend auf Fahrzeugdaten aufzeigen konnten. Dementsprechend existieren auch keine Studien, in denen mit Hilfe einer solchen Schätzung LDW- oder HC-Systeme adaptiv gestaltet wurden. Einige theoretische Überlegungen sollen jedoch an dieser Stelle aufgeführt werden.

Es wäre sehr ökonomisch, wenn auf Nebentätigkeit des Fahrers anhand von Daten auf dem CAN- oder dem Flexray-Bus geschlossen werden könnte. Die Daten der Bedienung des Lenkrads, der Pedale sowie verschiedener Umweltsensoren sind dort verfügbar, ohne dass weitere technische Komponenten ins Fahrzeug eingebracht werden müssen. Bisherige Studien ergeben noch kein aussagekräftiges Bild, wie gut eine solche Ablenkungs-Klassifikation sein könnte. Der eigene Ansatz zeigt aber, dass Potential in einer solchen Vorhersage steckt. Dabei erscheinen vor allem Daten der Querführung relevant. Das Problem ist, dass sich bei entsprechend gerader Straße und gutem Geradeauslaufverhalten des Fahrzeugs eine schlechtere Überwachung der Spurführung nicht oder erst langsam zeigen wird. Damit finden sich möglicherweise auch kein für Unaufmerksamkeit typisches Pendeln und keine typischen Lenkkorrekturbewegungen. Somit wird sich ein Abzug der Aufmerksamkeit von der Fahraufgabe nicht immer und auch nicht unbedingt zeitnah im Fahrzeugführungsverhalten zeigen.

Die Konsequenzen einer mangelnden Zuverlässigkeit wurden schon im Rahmen der Nutzung der Kopforientierung und der Fahreraktivität als Aufmerksamkeitsschätzer diskutiert. Eine *adaptive Warnungsauslösung* ist aufgrund solcher Daten nicht denkbar, da die Gefahr besteht, einen Fahrer fälschlicherweise als aufmerksam zu klassifizieren und daher eine nötige Spurverlassenswarnung zu unterdrücken.

Aber auch eine Adaption in Form eines *dynamischen Warnzeitpunktes* ist im Zusammenhang mit einem Spurhalteassistenzsystem nicht empfehlenswert. Zwar wird

hier immer eine Warnung gegeben, wenn der Fahrer ohne zu blinken eine Linie überfährt, so dass die Zuverlässigkeit der Erkennung nicht so entscheidend ist. Ein anderes Problem ist jedoch bedeutender: Die Spurhalteassistenten selbst konfliktieren mit der Aufmerksamkeitsschätzung. Wird eine Adaption in Form eines *dynamischen Warnzeitpunktes* gewählt, führt ein HC-System den Fahrer schon bei kleineren Abweichungen zurück zur Spurmitte und verfälscht somit das Maß, das zur Erkennung des Fahrerzustands genutzt wird. Einmal assistiert ist unklar, ob der Fahrer weiterhin Unterstützung benötigt oder seine Aufmerksamkeit wieder komplett auf die Fahraufgabe ausrichtet.

Die Überlegungen verdeutlichen, dass die Adaption eines Spurhalteassistentensystems über das auf Fahrzeugdaten basierte Erkennen einer Ablenkung kaum möglich ist. Es ist nicht sichergestellt, dass die Erfassung zeitnah ist, noch ist eine hohe Zuverlässigkeit zu erwarten. Zudem wird die Erfassung durch den Eingriff des Assistenzsystems selbst nivelliert. Damit sollte dieser Ansatz aber nicht generell verworfen werden. Denn eine solche Schätzung könnte in anderen Assistenzbereichen, zum Beispiel der Längsführung, nützlich sein. Es bedarf zunächst weiterer Studien, die das tatsächliche Potential einer Aufmerksamkeitsschätzung über Fahrzeugdaten erfassen. Erst dann kann weiter über Einsatzmöglichkeiten auch im Rahmen anderer Assistenzfunktionen diskutiert werden.



## 9. Negative Verhaltensanpassung an Spurhalteassistenzsysteme

---

Die bisherigen Ausführungen zeigen, dass eine adaptive Unterstützung von den Fahrern akzeptiert wird und außerdem auch einen objektiven Nutzen in Form einer besseren Spurführung erbringen kann. Auch wenn diese Ergebnisse zuversichtlich hinsichtlich eines Sicherheitsgewinns stimmen, müssen auch negative Effekte in Verbindung mit einer Systemnutzung diskutiert werden. Es ist denkbar, dass Fahrer gerade aufgrund des Wissens über eine Unterstützung eines Assistenzsystems weniger Aufmerksamkeit auf die Fahrzeugführung richten und somit den Sicherheitsgewinn wieder „verschenken“.

So konnten unter anderem Sagberg, Fosser und Saetermo (1997) zeigen, dass Fahrer von Fahrzeugen mit ABS im Vergleich zu Fahrzeugführern ohne ABS kleinere Zeitlücken zum Vorfahrenden wählten (vgl. auch Aschenbrenner und Biehl 1992). Der Sicherheitsgewinn durch die verbesserte Bremsleistung wurde offensichtlich durch die Wahl eines kleineren Abstands beziehungsweise höherer Geschwindigkeit und hinsichtlich einer schnelleren Zielerreichung wieder aufgegeben.

Verschiedene psychologische Theorien der letzten 25 Jahre haben versucht, dieses Phänomen von Verhaltensanpassungen zu beschreiben, zu erklären und vorherzusagen (vgl. Vaa 2001). Eine der ersten Theorien war die Risiko-Homöostase-Theorie von Wilde (1982). Die Theorie besagt, dass Fahrer stets ein gewisses (Unfall-) Risiko akzeptieren und einen für sie optimalen Risikolevel zur Erreichung ihrer Ziele anstreben. Während einer Autofahrt vergleicht der Fahrer sein akzeptiertes Risiko mit dem aktuell wahrgenommenen Risiko. Finden sich Differenzen zwischen der Wahrnehmung und der eigenen Risikoakzeptanz, passt der Fahrer sein Verhalten so an, dass die Differenz null ist. In der Folge von Wildes Theorie entstanden weitere Risiko-Theorien, die die Risikoabschätzung und -wahrnehmung anders darstellten (Fuller 1984; Summala 1988). Weitere Theorien fokussierten nicht nur auf Motivationsfaktoren, sondern bezogen auch die Fahraufgabe und Leistungsaspekte, also die Fähigkeiten des Fahrers und

dessen Selbsteinschätzung mit ein (Summala 1997, Fuller und Santos 2002). Auch der Einfluss von Persönlichkeitsmerkmalen (Rudin-Brown und Noy 2002, Brown 2000) wurde erörtert.

In allen diesen Modellen findet sich immer eine Komponente, die oft als gegeben angenommen, aber nur in Evans „Human Behaviour Feedback“-Modell (Evans 1985) inhaltlich stärker berücksichtigt wird: Die Wahrnehmung und Wahrnehmbarkeit der Verkehrssicherheitsmaßnahme beziehungsweise die Wirksamkeit des Assistenzsystems. Forschungsarbeiten aus dem Bereich der Automatisierung führen diese Überlegungen weiter aus. So zeigen Studien von Muir (1994) und Muir und Moray (1996), dass vor allem das Systemvertrauen des Bedieners die Art und Weise beeinflusst, mit der ein automatisiertes System überwacht und wann eingegriffen, beziehungsweise das System übersteuert wird. Die Parallele zur Verhaltensanpassung und der Zusammenhang zwischen Systemvertrauen und Fahrerverhalten sind offensichtlich.

Die Entwicklung des Systemvertrauens selbst basiert auf mehreren Faktoren. Stanton und Young (2000) führen hier unter anderem die Vorhersagbarkeit und die Zuverlässigkeit des Systemverhaltens als wesentliche Grundlagen an. Die Gründe für ein falsches Systemvertrauen liegen nach Lee und See (2004) dabei vorwiegend in einer falschen Informationssammlung über das System.

Diese erfolgt über

- die wahrgenommene Leistungsfähigkeit,
- das Verständnis der Funktionsweise und
- das Verständnis, wozu das System genutzt werden soll, beziehungsweise entwickelt wurde.

So detailliert die einzelnen Modelle auch sein mögen: Nach Carsten (2002) und Rothengatter (2002) kann bis heute kein Modell klare Vorhersagen über Verhaltensanpassungen leisten. Sie kritisieren, dass neben dem deskriptiven Charakter der Modelle häufig keine Operationalisierbarkeit der Konstrukte besteht.

Ohne weiter auf Details der Diskussion einzugehen, ist es unbestritten, dass das Systemvertrauen eine entscheidende Rolle für das Auftreten von Verhaltensanpassungen spielt. Im Folgenden werden daher empirische Studien zu Verhaltensanpassungen an Spurhalteassistenzsystemen diskutiert.

#### **9.1.1. Empirische Studien**

Unabhängig von einem konkreten Modell, das die Entwicklung negativer Verhaltensanpassungen an Spurhalteassistenzsysteme vorhersagen kann, ist eine bestimmte Form der Anpassung naheliegend. Aufgrund eines falschen Systemvertrauens ist denkbar, dass Fahrer die Aufmerksamkeit oder die kognitiven Ressourcen auf Seiten der Querregulierung des Fahrzeugs noch stärker verringern und auf die Nebentätigkeiten verschieben. Wie in Kapitel 2.2.2.2 beschrieben, neigen Fahrer dazu, aufgrund der Kontrollprozesse des *Feedbacks*, der *Antizipation* und der *Adaptivität* ihre Ressourcenverteilung anzupassen. Schon ohne Fahrerassistenzsysteme findet dabei häufig eine ungünstige Ressourcenverteilung statt, die in Ablenkung resultiert. Die Annahme eines Fahrers, dass durch eine Unterstützung eines Spurhalteassistenzsystems noch weniger Ressourcen auf Seiten der Fahraufgabe benötigt werden, könnte diesen Effekt noch verstärken. Zwar werden durch die Nutzung eines Spurhalteassistenzsystems tatsächlich situationsbedingt weniger Ressourcen auf Seiten der Fahraufgabe benötigt, gleichzeitig steigt aber die Wahrscheinlichkeit, kritische Situationen oder Systemgrenzen schlechter beherrschen zu können.

Um eine Verringerung oder Verlagerung der Aufmerksamkeit von der Fahraufgabe fort aufzuzeigen, wird normalerweise ein Maß zur Querführungsgüte herangezogen. Bei Einsatz eines Querführungsassistenten ist dies zwangsläufig nicht möglich. Eine Alternative ist, nicht die Leistung in der Hauptaufgabe (das Fahrzeug sicher in der Spur halten), sondern die Durchführung der Nebentätigkeit näher zu betrachten. Die Leistung in dieser Aufgabe sollte steigen, da durch die Spurhalteassistenz mehr kognitive Ressourcen zur Verfügung stehen sollten. Dabei könnte sich eine verstärkte Ressourcenzuweisung zu Nebentätigkeiten einerseits über einen längeren Zeitraum in

Form einer *häufigeren Zuwendung zu Nebentätigkeiten* mit Assistenz im Vergleich zu Fahrten ohne Assistenz zeigen (vgl. *Taktische Ebene*, Kapitel 2.2.2.2.2). Eine andere Möglichkeit wäre, dass die *Umverteilung der Ressourcen* direkt während der Durchführung der Nebentätigkeit geschieht (vgl. *Operationsebene*, Kapitel 2.2.2.2.1), was zum Beispiel in Form von längeren Blickabwendungszeiten von der Straße und besseren Leistungen in der Nebenaufgabe resultieren könnte.

In der schon zitierten Studie von LeBlanc et al. (2006) wurde die *Häufigkeit von Nebentätigkeiten* mit und ohne Nutzung eines LDW-Systems in Kombination mit einem System zur Warnung bei hoher Geschwindigkeit vor Kurven („Curve Speed Warning“, CSW-System) untersucht. Um eine Aussage dahingehend treffen zu können, ob verstärkt Nebentätigkeiten beim Autofahren durchgeführt wurden, wenn die Systeme aktiviert waren, wurden aus den Videodaten zufällig Szenen von 5 Sekunden Länge ausgewählt und diese dahingehend untersucht, ob der Fahrer mit einer Nebentätigkeit beschäftigt war oder aufmerksam fuhr. Über dieses Vorgehen wurden 1440 Szenen klassifiziert und über Chi-Quadrat-Tests signifikante Unterschiede in der Anzahl der Nebentätigkeiten mit und ohne die Assistenzsysteme untersucht. Dabei zeigten sich keinerlei signifikante Unterschiede.

Die Fahrer in dieser Untersuchung konnten über einen Zeitraum von vier Wochen ein Fahrzeug beliebig nutzen. Damit kann zum einen von einer Gewöhnung an die Systeme und zum anderen von einem minimalen Einfluss durch die Versuchssituation ausgegangen werden. Die Daten sind damit als hoch extern valide anzusehen. Offensichtlich haben die Systeme die Fahrer nicht dazu verleitet, sich auf deren Funktionsweise zu verlassen, häufiger Ressourcen von der Fahraufgabe abzuziehen und damit im Zusammenhang mehr Nebentätigkeiten durchzuführen.

Dies beantwortet jedoch noch nicht die Frage, ob die Fahrer trotzdem während der Durchführung der Nebentätigkeiten weniger Aufmerksamkeit auf die Fahraufgabe gerichtet haben. Zwei Studien sollen hier diskutiert werden, die die *Ressourcenverteilung* zwischen Fahraufgabe und Nebentätigkeit mit und ohne Unterstützung eines Querführungsassistenten untersucht haben.

Popken, Nilsson und Krems (2008) untersuchten in einem dynamischen Fahrsimulator, inwiefern unterschiedliche Varianten der Querführungsassistenten auf die Leistung in einer Nebentätigkeit und auf die für die Nebentätigkeit notwendigen Blickabwendungen von der Straße Einfluss nehmen. Dazu fuhren 45 Probanden in einem Fahrsimulator eine identische Strecke nacheinander ohne Spurhalteassistenten, mit einem LDW-System und mit einem kontinuierlich führenden HC-System und bearbeiteten dabei die Nebenaufgabe. Die Reliabilität beziehungsweise die Verfügbarkeit der Systeme lag bei 100 %. Als Maße für die Leistung in der Nebenaufgabe wurde die Anzahl richtiger Antworten, die Reaktionszeiten bei der Durchführung der Aufgabe und die Anzahl ausgelassener Aufgaben analysiert. In keinem dieser Maße zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den Fahrten ohne Assistenten, den Fahrten mit dem LDW-System und den Fahrten mit dem HC-System. Es zeigten sich ebenfalls keine signifikanten Unterschiede bei der Analyse der Blickhäufigkeit und der Dauer der Blickzuwendungen zum Display. Ein negativer Effekt in Form einer Verlagerung kognitiver Ressourcen von der Fahraufgabe auf die Nebenaufgabe durch die Nutzung von Querführungsassistenten konnte damit nicht bestätigt werden. Dies scheint zunächst umso beachtlicher, bedenkt man, dass die Verfügbarkeit der Systeme bei 100 % lag und somit normalerweise leicht Systemvertrauen aufgebaut werden sollte (vgl. Stanton und Young 2000). Da aber sowohl die Möglichkeit zur Gewöhnung der Probanden an die Systeme gering und die befahrene Strecke im eigentlichen Versuch kurz waren (etwa 40 Minuten), bestand möglicherweise nicht genug Zeit, um ausreichend Informationen über die Funktionsweise des Systems zu sammeln und so Systemvertrauen aufzubauen.

Im Rahmen der in Kapitel 7.2.2.1 dargestellten eigenen Untersuchung wurde ebenfalls eine Fragestellung hinsichtlich ungünstiger *Ressourcenverteilung* durch die Nutzung eines HC-Systems berücksichtigt. Wie beschrieben fand die Studie im realen Verkehr statt. Damit ist nicht wie im Simulator von einer 100-prozentigen Systemverfügbarkeit auszugehen, sondern die Fahrer erlebten auch Situationen, in denen das System zum Beispiel aufgrund fehlender oder schlechter Spurmarkierungen nicht unterstützte. Die

Untersuchung fand im Rahmen der Messungen auf der Landstraße statt. Zu diesem Zeitpunkt waren jeder der Probanden etwa 350 km mit dem Heading-Control-System gefahren, so dass Gelegenheit bestand, Wirkungsweise und Leistungsfähigkeit des Systems einzuschätzen und Systemvertrauen aufzubauen. Wie geschildert fuhren die Probanden mehrmals mit und ohne Heading-Control-System auf dem gleichen Landstraßenabschnitt und führten dabei eine ablenkende Nebentätigkeit durch (Eingabe einer Telefonnummer). Der Systemzustand (aktiviert oder deaktiviert) wurde während der ersten fünf Fahrten vom Versuchsleiter wahrheitsgemäß angegeben. Vor der sechsten Fahrt wurde die Versuchsperson erneut gebeten, nochmals die Straße zu befahren und dabei eine Telefonnummer einzugeben. Hierbei wurden sie instruiert, dass das Heading-Control-System aktiv sei. Kurz nachdem der Fahrer mit der Eingabe begonnen hatte, deaktivierte der Versuchsleiter jedoch entgegen seiner Aussage das System. Die Statusanzeige im Kombiinstrument zeigte dabei nach wie vor eine vorhandene Systemverfügbarkeit. Der Fahrer konnte diesen „Systemausfall“ also nur dadurch bemerken, dass keinerlei Lenkmomente am Lenkrad generiert wurden.

Sollten Fahrer ein falsches Systemvertrauen aufgebaut haben und aufgrund dieses Vertrauens zu viele Ressourcen von der Fahraufgabe abziehen, sollten sie stärker in der Spur abweichen, als wenn sie die Querführung nicht allein dem System überließen.

Ein Vergleich der Spurhaltung zwischen Fahrten, während derer die Fahrer selbstständig die Querführung regelten („Keine Assistenz“), mit Fahrten, bei denen sie irrtümlicherweise dachten, sie hätten Unterstützung durch das System, sollten somit negative Verhaltensanpassungen in Form von einer unzureichenden Ressourcenverteilung zur Fahraufgabe zeigen. Die Abbildung 9.1 zeigt die gemittelten minimalen Abstände des Fahrzeugs zu den Fahrspurbegrenzungslinien.

Ein t-Test für abhängige Stichproben zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen ( $T = -0.19$ ,  $df = 28$ ,  $p = .985$ ). Denkbar wäre, dass die Fahrer schnell die fehlende Verfügbarkeit des Systems bemerkten, sich deswegen nicht mehr auf das System verließen und der Fahraufgabe wieder mehr Ressourcen zukommen ließen. Im Anschluss an die Fahrten fragte der Versuchsleiter daher, ob dem Fahrer während der

Fahrt etwas Besonderes aufgefallen sei. Sechs der achtundzwanzig berücksichtigten Fahrer gaben an, dass das Heading-Control-System „sehr spät“ oder „gar nicht“ unterstützt habe. Den zweiundzwanzig übrigen Fahrern war nichts aufgefallen.

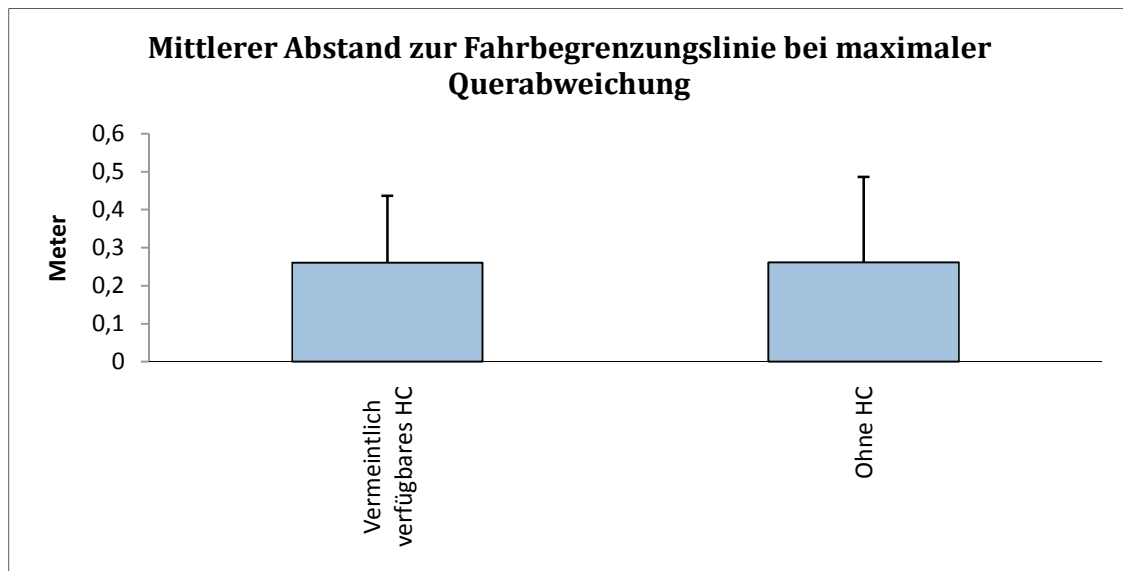


Abbildung 9.1: Mittlere minimale Abstände zur Fahrspurbegrenzungsline

Damit kann davon ausgegangen werden, dass die Fahrer trotz Querführungsunterstützung nicht zu viele Ressourcen von der Fahraufgabe abzogen und offensichtlich kein überzogenes Systemvertrauen hatten.

Zwei weitere Studien sollen abschließend angesprochen werden, die zwar nicht explizit auf die Durchführung von Nebentätigkeiten unter Spurhalteassistenten ausgerichtet waren, die aber auf die Erkennung anderer negativer Verhaltensanpassungen an LDW-Systeme fokussierten.

Eine häufig zitierte Arbeit stammt von Rudin-Brown und Noy (2002). Anhand von Probandenexperimenten im Fahrsimulator und auf abgesperrter Teststrecke zeigten die Autoren, dass das Vertrauen der Versuchsteilnehmer in ein auditives LDW-System auch dann nicht abzunehmen schien, wenn sie nach längerer Ablenkungsfahrt bei fehlerfrei funktionierendem System mit einer Systemvariante konfrontiert wurden, welche in

regelmäßigen Abständen ausfiel und dabei den Fahrer auch in kritischen Situationen nicht warnte. Obwohl sich dies im Versuch nicht negativ auf die Fahrleistungen auswirkte, schlussfolgern die Autoren, dass Assistenzsysteme dieser Art die Gefahr von „blindem Vertrauen“ bergen. Dieses Urteil ist insofern nicht angemessen, da ein Abnehmen des Systemvertrauens bei Nutzung eines deutlich schlechteren Systems nur gerechtfertigt ist, wenn das Systemvertrauen gegenüber der ersten beziehungsweise „guten“ Variante adäquat gewesen ist. Die Ergebnisse sind aber auch dahingehend interpretierbar, dass das Systemvertrauen gegenüber dem „guten“ System noch nicht voll ausgebildet gewesen ist. Somit zeigte auch diese Studie keinen klaren Hinweis für unangemessenes Systemvertrauen.

Auch in der groß angelegten Feldstudie von Portouli et al. (2006) konnten keine konkreten Hinweise auf eine negative Verhaltensanpassung bei längerem Gebrauch eines LDW-Systems registriert werden. Die teilnehmenden Probanden befuhren an mehreren Tagen zur gleichen Zeit ein zuvor ausgewähltes Autobahnstück, wobei eine Subgruppe der Teilnehmer einen Versuchsträger mit aktivem LDW-System steuerte, eine andere Subgruppe hingegen ein Fahrzeug ohne entsprechende Spurhalteassistenten. Der Vergleich der beiden Gruppen zeigte weder Unterschiede in der von den Fahrern gewählten Reisegeschwindigkeit, noch im gewählten Abstand zu vorausfahrenden Fahrzeugen. Auch die Anzahl der von den Probanden durchgeführten Spurwechsel variierte nicht zwischen den Gruppen. Somit wurden auch hier keine der in Frage kommenden Verhaltensweisen negativ durch ein LDW-System beeinflusst.

### **9.1.2. Diskussion: Negative Verhaltensanpassungen**

Insgesamt ist die Anzahl an Studien, die negative Verhaltensanpassungen bezüglich Spurhalteassistenzsystemen untersuchen noch gering. Die Studien zeigen bislang kein Auftreten negativer Verhaltensanpassungen. Bezüglich LDW-Systemen überzeugt die Studie von LeBlanc et al. (2006) dahingehend, dass es durch die derzeitigen Systeme nicht zu einer vermehrten Durchführung von Nebentätigkeiten kommt. Wie weit dies auch für HC-Systeme gilt, ist noch unklar.



Die Studie von Popken et al. (2008) zeigt, dass LDW- und HC-Systeme den Fahrer nicht zu längeren Blickabwendungszeiten von der Straße verleiten. Hierbei muss jedoch einschränkend festgehalten werden, dass die Zeit, die den Probanden gegeben wurde, um (angemessenes oder unangemessenes) Systemvertrauen aufzubauen, zu kurz gewesen ist.

In einer eigenen Studie konnte jedoch ebenfalls kein falsches Systemvertrauen in Form einer verminderten Aufmerksamkeitszuweisung zur Querführungsaufgabe bei Nutzung eines HC-Systems nachgewiesen werden.

Letztendlich muss damit festgehalten werden, dass es noch wenig Forschung in diesem Bereich gibt. Um weiter sicherstellen zu können, dass die Nutzung von Spurhalteassistenzsystemen nicht zu negativen Verhaltensanpassungen führt, müssen vor allem Untersuchungen mit längerer Nutzungsdauer durchgeführt werden. Hierbei würde es sich anbieten, einen Field-Operational-Test nach dem Vorbild von LeBlanc et al. (2006) mit einem HC-System durchzuführen. Da ein solches System stärker bei der Querführung unterstützt als ein LDW-System, ist es für die Fahrer naheliegend, dem System auch größere Teile der Querregelung zu überlassen und selbst weniger Aufmerksamkeit darauf zu lenken. Damit verbunden könnte es zur vermehrten Durchführung von Nebentätigkeiten kommen. Neben einer derart gestalteten Studie bedarf es außerdem weiterer Forschung, ob Fahrer bei Bereitstellung eines HC-Systems die Aufmerksamkeit bei der Durchführung von Nebentätigkeiten stärker von der Fahraufgabe abziehen.

Bislang wurden nur Verhaltensanpassungen an aktuelle Spurhalteassistenzsysteme diskutiert. Dabei konnten keine negativen Verhaltensanpassungen festgestellt werden. Die Frage bleibt, ob im Hinblick auf die weitere Entwicklung von Spurhalteassistenzsystemen mit negativen Verhaltensanpassungen zu rechnen ist.

Die Komplexität zukünftiger Spurhalteassistenzsysteme wird durch die Entwicklung zusätzlicher Sonderfunktionen, wie zum Beispiel einer Überholerkennung (zum Beispiel Blaschke et al. 2008), einer möglichen Anpassung an Fahrertypen (zum Beispiel Henze,

Bergholz und Küçükay 2009) und auch dem in dieser Arbeit verfolgten Ansatz der Anpassung an den Fahrerzustand deutlich steigen. Gleichzeitig werden dadurch viele der in Abbildung 1.1 dargestellten Fehlwarnungen vermieden werden können. Diese zunehmende Perfektion könnte zu einer schlechteren Wahrnehmung der Systemgrenzen führen (vgl. Parasuraman 2000). Auch die Funktionsweise und damit der Sinn und Zweck der Systeme wird dadurch möglicherweise intransparenter, leichter missverständlich und sollte damit nach Lee und See (2004) ebenfalls die Gefahr eines falschen Systemvertrauens steigern.

Andererseits werden auch diese Systeme keine 100-prozentige Verfügbarkeit und Leistungsfähigkeit erreichen können. Auf der einen Seite werden stets Situationen auftreten, in denen keine Spurerkennung und somit keine Systemunterstützung möglich ist. Auf der anderen Seite wird in Zukunft aus Sicherheitsgründen auch das maximale Systemlenkmoment von 3 Nm nicht überschritten werden. Daher werden Fahrer immer wieder Situationen erleben, in denen der Systemeingriff nicht ausreichend ist. Möglicherweise reichen diese Grenzfälle aus, dem Fahrer Systemgrenzen klar vor Augen zu führen und somit kein falsches Systemvertrauen aufzubauen.

Letztendlich kann an dieser Stelle noch keine abschließende Aussage dahingehend getroffen werden, ob negative Verhaltensanpassungen den Sicherheitsgewinn durch die Nutzung Fahrerzustands-adaptiver Spurhalteassistenten wieder verringern. Zukünftige Forschungsprojekte müssen dies näher untersuchen und gegebenenfalls Maßnahmen gegen solche Verhaltensanpassungen entwickeln.

## **10. Zusammenfassung und Diskussion: Spurhalteassistenzsysteme und Ablenkungserkennung**

---

Fahrer neigen dazu, sich während der Fahrt durch eine Vielzahl von Dingen ablenken zu lassen oder unbeabsichtigt abgelenkt zu werden. Neben der Nutzung von Mobiltelefonen führen auch Beifahrer sowie die im Fahrzeug eingebauten Infotainment-Systeme und vieles mehr (vgl. Dingus et al. 2006) dazu, dass Fahrer der Fahraufgabe weniger Aufmerksamkeit zukommen lassen, als die sichere Bewältigung dieser es verlangt. Eine Folge davon sind Unfälle durch Spurverlassen. 32,9 % der Verkehrstoten in Deutschland gehen auf Spurverlassensunfälle zurück (Destatis 2009), wobei nach einer Studie aus den USA 40 % solcher Unfälle klar mit Ablenkung in Verbindung stehen (McLaughlin et al. 2009). Um diese Unfälle zu vermeiden, finden sich bei einer zunehmenden Anzahl an Automobilherstellern Querführungsassistenzsysteme, die bei Überfahren einer Spurmarkierung durch eine Warnung oder einen Eingriff ein unbeabsichtigtes Spurverlassen zu verhindern versuchen. Feldstudien zeigen jedoch, dass eine Vielzahl der von den Systemen initiierten Warnungen unnötig beziehungsweise unangebracht sind (Leblanc et al. 2006) und teilweise die Fahrer stören (zum Beispiel Alkim et al. 2007). Grund dafür ist, dass bei der Regelung der Systeme der Zustand und die Absicht des Fahrers selbst nur unzureichend berücksichtigt werden. Im ersten Teil dieser Arbeit wurden verschiedene Methoden beschrieben, über die die Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers und damit auch eine Ablenkung erkannt werden können. Basierend auf einer solchen Erkennung ist es denkbar, eine Anpassung der Warnungen oder Eingriffe von Spurhalteassistenzsystemen zu regeln und die Systeme damit akzeptabler und besser zu machen. Für diese Systeme scheinen dabei vor allem die Erfassung der Blickrichtung und die Bedienung eines Infotainment-Systems die besten Möglichkeiten zu sein.

Dafür sind prinzipiell zwei verschiedene Adaptionstrategien denkbar:

Grundsätzlich könnten Warnungen direkt in Abhängigkeit vom Fahrerzustand ausgelöst werden (Strategie: *adaptive Warnungsauslösung*).

Die andere Strategie sieht einen *dynamischen Warnzeitpunkt* vor. Ist der Fahrer unaufmerksam, wird er früher gewarnt oder unterstützt. Wird er als aufmerksam klassifiziert, erfolgt die Warnung später.

Für eine *adaptive Warnungsauslösung* existieren zwei Herangehensweisen. Zum einen kann im Vergleich zu einem heutigen „Standard“-System ein Systemeingriff unterdrückt werden, wenn der Fahrer beim Überfahren der Linie als aufmerksam klassifiziert wird (Leblanc et al. 2008). Denkbar ist aber auch, nur dann zu warnen, wenn der Fahrer beim Überfahren der Linie als unaufmerksam eingestuft wird (Pohl et al. 2007). Die Wahl der Variante ist davon abhängig, wie zuverlässig der Fahrerzustand hinsichtlich beider Zustände geschätzt werden kann. Die bisherigen Studien zur Erkennung von Ablenkung beim Autofahren zeigen, dass eine solche Anpassung noch nicht zu empfehlen ist. Der Grund dafür ist, dass über keine Methode eine permanente Aussage hinsichtlich der Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers getroffen werden kann. Es ist weder möglich zu überwachen, dass der Fahrer seine Aufmerksamkeit auf die Straße ausrichtet, noch kann jede Nebentätigkeit beziehungsweise Aufmerksamkeitsabwendung erkannt werden. Eine Fehlklassifikation kann somit in beiden Fällen zu einem Ausbleiben einer notwendigen Warnung führen und den Systemnutzen damit stark einschränken. Erschwerend kommt hinzu, dass auch andere Aspekte des Fahrerzustands, wie zum Beispiel Müdigkeit, bei einer solchen Systemauslegung berücksichtigt werden müssten. Auch wenn dieses Vorgehen bislang noch nicht denkbar ist, zeigen die Studien von Leblanc et al. (2008), dass durch eine *adaptive Warnungsauslösung* eine starke Reduktion unnötiger Warnungen eines LDW-Systems möglich wäre (bis zu 88 % in der Studie). Zwar zeigte sich dies nicht in einer besseren subjektiven Beurteilung im Vergleich zu einem „Standard“-LDW-System. Durch die Reduktion kann jedoch von einer Steigerung der Warnungssalienz und damit einer besseren Reaktion der Fahrer auf die

Warnungen ausgegangen werden (vgl. Zabyszny und Ragland 2003). Insofern ist ein Nutzen der Strategie unbestreitbar. Es bleibt zu hoffen, dass zuverlässigere Methoden zur Erkennung der Fahrerablenkung die Umsetzung dieser Anpassung in den nächsten Jahren ermöglichen.

Eine schon heute umsetzbare Alternative stellt die Strategie eines *dynamischen Warnzeitpunktes* dar. Im Vergleich zu einer *adaptiven Warnungsauslösung* ist diese deutlich robuster gegenüber Fehlklassifikationen bei der Schätzung der Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers. Wird der Fahrer zu Unrecht als aufmerksam klassifiziert, erfolgt dennoch beim Spurverlassen eine Unterstützung durch das System. Damit sind auch Situationen abgedeckt, bei denen der Fahrer aufgrund von Müdigkeit von der Spur abzukommen droht. In Bezug auf die Abbildung 1.1 sollten durch eine solche Anpassung sowohl die Warnungen minimiert werden, bei denen das System zu sensitiv war, als auch die Fälle reduziert werden, in denen der Fahrer trotz Warnung von der Spur abkam.

Die eigene Studie (vgl. Kapitel 8.2.2.1) zeigt, dass durch einen *dynamischen Warnzeitpunkt* sowohl ein objektiver Nutzen in Form einer geringeren Spurabweichung als auch ein subjektiver Nutzen in Form einer Wahrnehmung des Sicherheitsgewinns und der Nützlichkeit festzustellen ist. Aufgrund dessen ist die Umsetzung dieser Strategie für Spurhalteassistenzsysteme zu empfehlen.

Während bislang die beiden Strategien getrennt voneinander betrachtet wurden, ist natürlich auch eine Kombination beider denkbar und wünschenswert. Davon ausgehend, dass eine Echtzeit-Erkennung der Fahreraufmerksamkeitsausrichtung mit hoher Zuverlässigkeit möglich ist, könnte bei Erkennen einer Aufmerksamkeitsabwendung von der Straße eine frühzeitige Unterstützung durch das Spurhalteassistenzsystem erfolgen. Damit sollte von vornherein vermieden werden, dass der Fahrer die Fahrspur unbeabsichtigt verlässt. Wird der Fahrer mit hoher Zuverlässigkeit als aufmerksam eingestuft, könnte ein Eingriff unterdrückt werden, so

dass nach Belieben „eine Kurve geschnitten“ oder ein Spurwechsel ohne Blinker durchgeführt werden kann. Damit würde das System optimal dem Bedarf des Fahrers angepasst werden.

Zu Bedenken bleibt, dass dem Sicherheitsgewinn durch solche Systeme negative Verhaltensanpassungen der Fahrer gegenüber stehen könnten. Auch wenn bislang noch keine solchen Anpassungen an aktuelle Spurhalteassistenzsysteme aufgezeigt werden konnten, ist es möglich, dass die zunehmende Perfektion und intelligente Anpassung der Systeme diese mit sich bringt. Zukünftige Studien müssen dies beobachten und gegebenenfalls die Systeme derart anpassen, dass deren Nutzen maximal bleibt.

Abschließend bleibt damit festzuhalten, dass eine Anpassung von Spurhalteassistenzsystemen an den Fahrerzustand zum Teil heute schon möglich und vorteilhaft ist. Es bleibt zu hoffen, dass Automobilhersteller und –zulieferer diese Vorteile erkennen und die Methoden zur Schätzung des Fahrerzustands im Fahrzeug weiterentwickeln, um Spurhalteassistenzsysteme im speziellen und Fahrerassistenzsysteme im Allgemeinen noch sicherer und komfortabler zu gestalten.

## 11. Ausblick

---

Ablenkung beim Autofahren wird immer ein Problem darstellen. Auch wenn in Zukunft, parallel zum Verbot der Nutzung von Mobiltelefonen beim Autofahren, weitere gesetzliche Vorschriften in Kraft treten, die Nebentätigkeiten verbieten, ist nicht mit einer starken Reduktion der Unfälle zu rechnen. Zum einen werden derartige Verbote nur teilweise beachtet (vgl. Heise 2010 in Bezug auf die Mobilfunknutzung), zum anderen sind viele Ablenkungen, wie zum Beispiel durch einen Unfall am Straßenrand, nicht gesetzlich regulierbar. Damit erscheint es von Seiten der Automobilhersteller sinnvoll, den Fahrer dahingehend zu unterstützen, Ablenkung zu *vermeiden*, zu *verringern* oder deren *Folgen* zu *mindern*.

Ein Beispiel zur *Vermeidung von Ablenkung* stellen Workload-Manager dar. Basierend auf Anforderungsschätzungen aus der Verkehrssituation werden potentiell ablenkende Ereignisse verzögert. So könnte zum Beispiel ein eingehender Telefonanruf unterdrückt oder Funktionen am Infotainment-System gesperrt werden, wenn sich der Fahrer ohnehin in einer stark beanspruchenden Verkehrssituation befindet. Detaillierte Informationen zu Workload-Managern finden sich zum Beispiel bei Engström und Victor (2008), Green (2004) und Zhang et al. (2008b).

Um *Ablenkung* zu *minimieren*, wird auch an Ablenkungs-Warnsystemen geforscht. Das Ziel ist, einen abgelenkten Fahrer durch eine Warnung darauf hinzuweisen, wieder mehr Aufmerksamkeit auf die Fahrzeugführung zu richten, auch wenn er sich nicht in einer kritischen Verkehrssituation befindet. In Bezug auf die in dieser Arbeit beschriebenen Schwierigkeiten, „Ablenkung“ anstelle einer reinen Aufmerksamkeitsverteilung zwischen Nebentätigkeit und Fahraufgabe zu erkennen, erscheint dieses Vorgehen sehr ambitioniert. Weitere Ausführungen zu solchen Systemen sind zum Beispiel bei Donmez, Boyle und Lee (2008), Engström und Victor (2008) und Zhang et al. (2008b) zu finden.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der dritten Möglichkeit, nämlich die *Folgen von Ablenkung* möglichst *gering* zu *halten*, indem Fahrerassistenzsysteme beziehungsweise Spurhalteassistenzsysteme gezielt den Fahrerzustand berücksichtigen.

Für alle Möglichkeiten im Umgang mit Ablenkung ist eine Schätzung des Zustandes des Fahrers notwendig. In den Kapiteln 3 bis 5 wurden drei Bereiche dargestellt, über die teilweise auf eine Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers geschlossen werden kann. Die Methoden wiesen alle mehr oder weniger große Ungenauigkeiten bei der Schätzung auf, so dass bei allen weiterer Forschungsbedarf besteht.

Im Bereich der Wahrnehmungserfassung sind von technischer Seite Fortschritte hinsichtlich einer automatisierten Erfassung von Blickbewegungen zu erhoffen. Erste Forschungsberichte (Heise 2008) legen nahe, dass auch eine automatische Kalibrierung inzwischen denkbar ist. Für den Einsatz im Automobil wäre dann vor allem auch eine kleine Baugröße entscheidend.

Im Bereich Fahreraktivität ist vor allem das Themenfeld Körpertracking weiter zu untersuchen. Dabei sollte eine Hardware für ein Körpertracking im Fahrzeug aufgebaut und hinsichtlich seines Nutzens untersucht werden. Die wesentliche Fragestellung in diesem Zusammenhang ist, bei welchen Stellungen der Extremitäten mit Sicherheit von einer eingeschränkten Fähigkeit zur Fahrzeugführung ausgegangen werden kann.

Auch im dritten Bereich „Fahrzeugdaten“ sollte verstärkt Forschung auf die Erkennung des Fahrerzustands gerichtet werden. Offensichtlich besteht dort Potential, auch über die heute schon verfügbaren Sensoren im Fahrzeug eine solche Erkennung zu ermöglichen. Auch wenn diese Informationen für ein Spurhalteassistenzsystem nicht geeignet sind, bestehen sicherlich andere Anwendungsfelder, zum Beispiel im Rahmen einer Auffahr-Warnung.

Da diese einzelnen Fragestellungen umfangreich sind, bleibt zu hoffen, dass die Ergebnisse abschließend zu einer integrierten Vorhersage des Fahrerzustands kombiniert werden. Denn erst die Kombination der Maße wird ein zunehmend vollständiges Bild des Fahrers im Fahrzeug erlauben.



Unabhängig von einer perfekten Klassifikation des Fahrerzustands kann auch heute schon darüber diskutiert werden, in welchen Assistenz-Bereichen diese Informationen einen Nutzen erbringen. Viele Fahrerinformations- und Warnsysteme könnten angepasst werden. Ein Beispiel dafür ist die schon in Kapitel 3.4 zitierte adaptive Geschwindigkeitswarnung in Kombination mit einer Verkehrszeichenerkennung (Fletcher et al. 2005). Dieses System warnt nur bei einer Überschreitung der Höchstgeschwindigkeit, wenn der Fahrer zuvor nicht in Richtung des Verkehrszeichens mit der Geschwindigkeitsbegrenzung geschaut hat.

Letztendlich sollten alle Fahrerassistenzsysteme, die bei der Durchführung der Fahraufgabe unterstützen, mehr oder weniger angepasst und somit verbessert werden können. Im Bereich der Längsführung ist ein Einsatz für Notbremssysteme denkbar. Hier können die Warnung und der Eingriff früher erfolgen, wenn der Fahrer offensichtlich Teile seiner Aufmerksamkeit auf eine Nebentätigkeit gelenkt hat. Auch für einen adaptiven Tempomaten ergeben sich Einsatzmöglichkeiten. Bei diesem könnte die Regelung der Geschwindigkeit auf ein vorausfahrendes langsames Fahrzeug in Abhängigkeit von der Aufmerksamkeit des Fahrers erfolgen. Bei einem aufmerksamen Fahrer und freier Nebenspur würde dieses System erst spät mit der Regelung beginnen, um dem Fahrer zuvor die Möglichkeit zum Überholen ohne eine Geschwindigkeitsreduktion zu geben.

Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der Anpassung von Spurhalteassistenzsystemen, also im Bereich der Querführung. Dabei bestehen nach wie vor einige unbeantwortete Fragen. Im Vordergrund stehen hierbei die subjektive und objektive Beurteilung der Systeme bei einer zuverlässigeren Schätzung der Aufmerksamkeitsausrichtung des Fahrers und der Kombination der Adaptions-Strategien. Auch wenn ein *dynamischer Warnzeitpunkt* sehr vorteilhaft erscheint, ist offensichtlich, dass eine Anpassung in Form einer *adaptiven Warnungsauslösung* heute noch nicht denkbar ist. Erst wenn die Zuverlässigkeit der Fahrerzustandserkennung gesteigert werden kann, ist erneut ein realistischeres Urteil über die Akzeptanz gegenüber beiden Strategien und deren Kombination einzuholen.

Nochmals erwähnt sei auch das Themenfeld negativer Verhaltensanpassungen. Bislang wurden keine negativen Verhaltensanpassungen an Spurhalteassistenzsysteme festgestellt. Es ist jedoch denkbar, dass die hier beschriebenen Anpassungen dazu führen. Daher muss auch weiterhin ein Fokus auf dieses Thema gerichtet werden, um nicht den Gewinn durch ein intelligenteres System durch eine Verhaltensanpassung der Fahrer wieder zu verlieren.

Auch wenn von technischer Seite noch viel Entwicklungsbedarf besteht und auch das Verhalten der Nutzer noch Fragen offen lässt, scheint die adaptive Gestaltung von Spurhalteassistenzsystemen heute sehr nützlich und sinnvoll zu sein. Es bleibt zu hoffen, dass Fahrerassistenzsysteme der nächsten Generation durch eine Berücksichtigung des Fahrerzustands in einer solchen Form noch effektiver und komfortabler werden.

## Anhang

---

### A1. Detaillierte Ergebnisse der Entscheidungsbäume

#### Test-Datensatz: 1, Valdierungsdatensatz: 2

Number of Leaves: 14  
Size of the tree 27  
Time taken to build model 0.22 seconds

=== Evaluation on test set ===

=== Summary ===

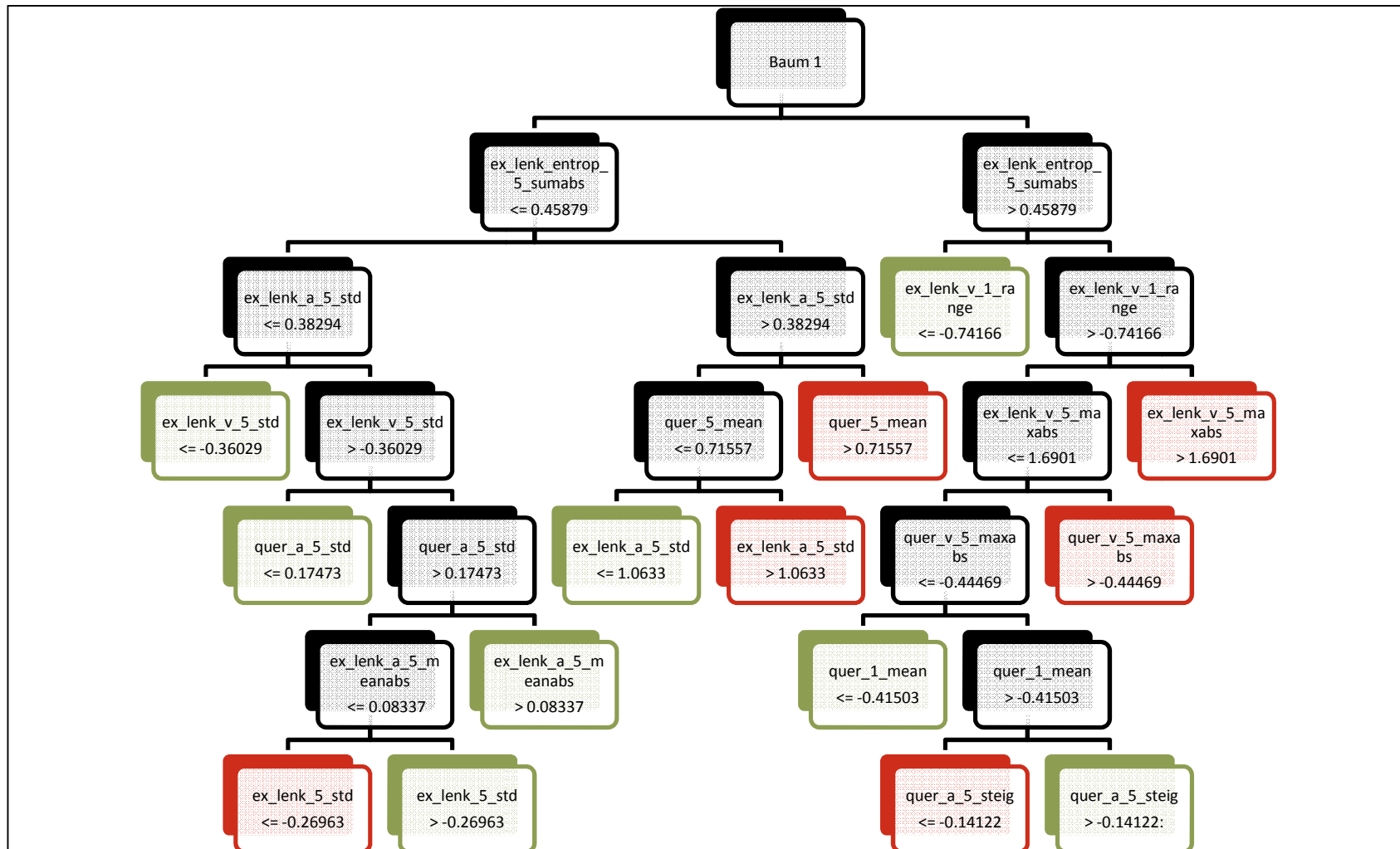
Correctly Classified Instances	509	76.0837 %
Incorrectly Classified Instances	160	23.9163 %
Kappa statistic	0.4705	
Mean absolute error	0.2623	
Root mean squared error	0.4418	
Relative absolute error	57.0849 %	
Root relative squared error	88.8007 %	
Total Number of Instances	669	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	ROC Area	Class
	0.908	0.464	0.749	0.908	0.821	0.819	0
	0.536	0.092	0.793	0.536	0.64	0.819	1
<b>Weighted Avg.</b>	<b>0.761</b>	<b>0.317</b>	<b>0.767</b>	<b>0.761</b>	<b>0.749</b>	<b>0.819</b>	

=== Confusion Matrix ===

a	b	← Classified as
367	37	a = 0
123	142	b = 1



**Test-Datensatz: 2, Valdierungsdatensatz: 1**

Number of Leaves                      18  
 Size of the tree                        35  
 Time taken to build model            0.22 seconds

=== Evaluation on test set ===

=== Summary ===

Correctly Classified Instances            517            78.691 %  
 Incorrectly Classified Instances        140            21.309 %

Kappa statistic                            0.5323  
 Mean absolute error                      0.2642  
 Root mean squared error                0.4116  
 Relative absolute error                 57.5056 %  
 Root relative squared error            87.7136 %  
 Total Number of Instances            657

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	ROC Area	Class
	0.788	0.215	0.893	0.788	0.837	0.859	0
	0.785	0.212	0.618	0.785	0.692	0.859	1
<b>Weighted Avg.</b>	<b>0.787</b>	<b>0.214</b>	<b>0.81</b>	<b>0.787</b>	<b>0.793</b>	<b>0.859</b>	

=== Confusion Matrix ===

a	b	← Classified as
360	97	a = 0
43	157	b = 1



## Erläuterung zu den Entscheidungsbäumen

Die Farben im Entscheidungsbaum sind wie folgt definiert:

- Schwarz: noch keine Klassifikation (Stamm)
- Rot: Fahrer wird als *abgelenkt* klassifiziert
- Grün: Fahrer wird als *aufmerksam* klassifiziert

Die Abkürzungen in den Entscheidungsbäumen setzen sich aus drei Bestandteilen zusammen. Der erste Teil beschreibt das Sensordatum. Der zweite Teil (die Zahl) beschreibt die Dauer über den der Kennwert, der im dritten Teil der Abkürzung verzeichnet ist, berechnet wird. So bedeutet zum Beispiel „*pedal\_1\_range*“, dass für den Fahrpedalwert in einem Zeitfenster von einer Sekunde der Range der Werte berechnet wurde.

Folgende Abkürzungen beschreiben die Sensordaten:

- *ex\_lenk\_*: Lenkradwinkel
- *ex\_lenk\_v\_*: Lenkradwinkelgeschwindigkeit
- *ex\_lenk\_a\_*: Lenkradwinkelbeschleunigung
- *ex\_lenk\_entrop\_*: Steering Entropy
- *ex\_lenk\_ec\_*: Ellipse Criterion
- *pedal\_*: Fahrpedalwert:
- *vego\_*: Eigengeschwindigkeit:
- *quer\_*: Querabweichung:
- *quer\_v\_*: Quergeschwindigkeit:
- *quer\_a\_*: Querbeschleunigung:
- *gier\_*: Gierwinkelfehler:

Wie beschrieben wurden Berechnungen über zwei Zeitfenster berücksichtigt:

- 1\_: eine Sekunde
- 5\_: fünf Sekunden

Die Abkürzungen für die Kennwerte sind wie folgt zu verstehen:

- mean: Mittelwert
- range: Range
- meanabs: Mittelwert der absoluten Werte
- std: Standardabweichung
- maxabs: Maximum der absoluten Werte
- sumabs: Summe der absoluten Werte
- steig: Steigung (lineare Regression)
- 80 (nur bei Ellipse Criterion): Anzahl Werte > 80
- 140 (nur bei Ellipse Criterion): Anzahl Werte > 140
- 210 (nur bei Ellipse Criterion): Anzahl Werte > 210



## A2. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1:Nützlichkeitsbewertung von Spurverlassenswarnungen .....	4
Abbildung 2.1:Das Modell multipler Ressourcen nach Wickens (2002).....	17
Abbildung 2.2:Anforderungen aus Fahraufgabe und Nebentätigkeit (Lee et al. 2008a) .....	21
Abbildung 2.3:Nebentätigkeiten beim Autofahren (Dingus et al. 2006).....	33
Abbildung 2.4:Schema der Fahrzeugführung .....	35
Abbildung 3.1:Versuchsträger im Versuch „Kopforientierung“ .....	48
Abbildung 3.2:Veranschaulichung Kopforientierungs-Analyse ohne zeitlichen Bezug .....	53
Abbildung 3.3:Wahrscheinlichkeit einer Blickabwendung nach Kopforientierung.....	54
Abbildung 3.4:Filterung der Messdaten im Versuch „Kopforientierung“ .....	57
Abbildung 3.5:Veranschaulichung Kopforientierungs-Analyse mit zeitlichem Bezug.....	60
Abbildung 3.6:Abwendungs-Klassifikationen über verschiedene Fahrsituationen.....	64
Abbildung 4.1:Versuchsträger im Versuch „MMI-Bedienung“ .....	78
Abbildung 4.2:Anzeige und Bedienung des Audi MMI im Versuchsträger .....	79
Abbildung 4.3:Mittlere maximale Querabweichungen bei MMI-Bedienung.....	84
Abbildung 4.4:Subjektives Urteil und Aufgabendauer verschiedener MMI-Aufgaben .....	86
Abbildung 4.5:Mittlere maximale Querabweichungen von MMI-Aufgaben innerhalb der ersten 10 Sekunden.....	88
Abbildung 5.1:Beispiel für einen Entscheidungsbaum .....	101
Abbildung 7.1:Fahrspurerkennung mit Hilfe von Messfenstern .....	117
Abbildung 7.2:Lenkmomentcharakteristiken von Heading-Control-Systemen.....	121
Abbildung 7.3:Unfallstatistik nach Unfallarten in Deutschland 2008 (Destatis 2008) ....	123
Abbildung 7.4:Gründe für unbeabsichtigtes Spurverlassen (McLaughlin et al. 2009) ....	124
Abbildung 8.1:Adaptions-Strategien von Fahrerzustands-adaptiven Spurhalteassistenzsystemen .....	130

Abbildung 8.2: Lenkmomentcharakteristiken der HC-Varianten im Versuchsträger.....	141
Abbildung 8.3: Cockpit des Versuchsträgers im Versuch „Heading-Control“ .....	142
Abbildung 8.4: Mittlere maximale Querabweichung bei unterschiedlicher Querführungsunterstützung .....	145
Abbildung 9.1: Mittlere minimale Abstände zur Fahrspurbegrenzungslinie .....	159

### **A3. Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Anteile der Straßenarten auf der Versuchsstrecke „Kopforientierung“ .....	50
Tabelle 2: Abwendungs-Klassifikationen des Algorithmus pro Minute Fahrzeit und Dauer in verschiedenen Verkehrssituationen.....	63
Tabelle 3: Bedienschritte verschiedener MMI-Aufgaben .....	83
Tabelle 4: Anzahl der Spurverlassensereignisse bei verschiedenen MMI-Aufgaben. ....	85
Tabelle 5: Mittlere Anteile falscher und richtiger Klassifikationen der Kreuzvalidierung der C4.5 Algorithmen .....	106
Tabelle 6: Versuchsbedingungen zur Erfassung des Nutzens und der Akzeptanz bei unterschiedlicher Querverführungsunterstützung .....	144
Tabelle 7: Anzahl der Spurverlassensereignisse bei unterschiedlichen Graden an Spurhalteunterstützung .....	146
Tabelle 8: Deskriptive Statistik und p-Werte der Skala „Sicherheit“ .....	148
Tabelle 9: Deskriptive Statistik und p-Werte der Skala „Unterstützung“ .....	148

#### A4. Literaturverzeichnis

Abele, J., Kerlen, C., Krueger, S., Baum, H., Geißler, T., Grawenhoff, S., Schneider, J., und Schulz, W.H. (2005). Exploratory study on the potential socio-economic impact of the introduction of intelligent safety systems in road vehicles. *Final Report SEiSS*. Verfügbar auf (02.01.11):

[http://ec.europa.eu/information\\_society/activities/esafety/doc/call\\_4/final\\_seiss.pdf](http://ec.europa.eu/information_society/activities/esafety/doc/call_4/final_seiss.pdf)

Alkim, T.P., Bootsma, G. und Hoogendoorn, S.P. (2007). Field Operational Test "The Assisted Driver", *Intelligent Vehicles Symposium*, 13-15 June 2007, Istanbul, Turkey, S.1198-1203.

Anderson, J.R. (2001). *Kognitive Psychologie*. 3. Auflage, Heidelberg: Spektrum, Akademischer Verlag.

Aschenbrenner, K.M. und Biehl, B. (1992). Improved safety through improved technical measures? In: Trimpop, R.M. und Wilde, G.J.S. (Hrsg.). *Challenges to accident prevention*, Groningen: Styx Publications, 1992, S.81-89.

Asteriadis, S., Karpouzis, K. und Kollidas, S. (2010). Head Pose Estimation with One Camera, in Uncalibrated Environments. In: *Proceedings of the Workshop on Eye Gaze in Intelligent Human Machine Interaction*, Hong Kong, China.

Bekiaris, E. (1999). Final Report of the SAVE-Project. *System for effective Assessment of the driver state and Vehicle control in Emergency situations (SAVE)*. Verfügbar auf (02.01.11):

[ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/telematics/docs/tap\\_transport/save\\_d20.pdf](ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/telematics/docs/tap_transport/save_d20.pdf)

Blanco, M., Biever, W.J., Gallagher, J.P. und Dingus, T.A. (2006). The impact of secondary task cognitive processing demand on driving performance. *Accident Analysis and Prevention*, 38, S. 895-906.

Blaschke, C., Schmitt, J. und Färber, B. (2008). Überholmanöver-Prädiktion über CAN-Bus Daten. *Automobiltechnische Zeitschrift*, 11, S. 1022-1028.

Broadbent, D.E. (1958). *Perception and Communication*. New York: Pergamon.

Brown, C.M. (2000). The concept of behavioural adaptation: Does it occur in response to lane departure warnings. *Proceedings of the International Conference of Traffic and Transport Psychology 2000*, S. 4-7.

Brown, T., Marshall, D., Moeckli, J. und Smyser, T. (2007). *A final report of Safety Vehicle(s) using adaptive Interface Technology (SAVE-IT) Program: Task 14a Evaluation*. Verfügbar auf (02.01.11):

<http://www.volpe.dot.gov/hf/roadway/saveit/docs/task14a.pdf>

Brünglinghaus, C. (2010). Fahrerassistenzsysteme von Mercedes-Benz mit neuen Funktionen. Artikel auf *ATZ online* vom 16.06.2010. Verfügbar auf (02.01.11): <http://www.atzonline.de/Aktuell/Nachrichten/1/11910/Fahrerassistenzsysteme-von-Mercedes-Benz-mit-neuen-Funktionen.html>

Buld, S., Krüger, H.-P., Hoffmann, S., Kaussner, A., Tietze, H. und Totzke, I. (2002). Wirkungen von Assistenz und Automation auf Fahrerzustand und Fahrsicherheit, *Veröffentlichter Abschlussbericht Projekt EMPHASIS: Effort-Management und Performance-Handling in sicherheitsrelevanten Situationen (Förderkennzeichen: 19 S 9812 7)*. Würzburg: Interdisziplinäres Zentrum für Verkehrswissenschaften an der Universität Würzburg (IZVW).

Caird, J.K., Willness, C.R., Steel, P. und Scialfa, C. (2008). A meta-analysis of the effects of cell phones on driver performance. *Accident Analysis and Prevention*, 40, S.1282-1293.

Carsten, O. (2002). Multiple perspectives. In Fuller, R. und Santos J.A. (Hrsg.), *Human factors for highway engineers*. Oxford: Pergamon, S. 11-22.

Cheng, S.Y., Park, S. und Trivedi, M.M. (2005). Multiperspective Thermal IR and Video Arrays for 3D Body Tracking and Driver Activity Analysis. In: *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*.

Cheng, S.Y., Park, S. und Trivedi, M.M. (2007). Multi-spectral and multi-perspective video arrays for driver body tracking and activity analysis. *Computer Vision and Image Understanding*, 106, S. 245-257.

Cooper, P.J., Zheng, Y., Richard, C., Vavrik, J., Heinrichs, B. und Siegmund, G. (2003). The Impact of hands-free message reception/response on driving task performance. *Accident Analysis and Prevention*, 35, S. 23-25.

Deram, P. (2004). *Vehicle based detection of inattentive driving for integration in an Adaptive Lane Departure Warning System – Distraction Detection*. Master thesis at the Royal Institute of Technology, Stockholm, Schweden.

Destatis (2009). *Verkehrsunfälle*, Bundesamt für Statistik, Fachserie 8, Reihe 7, Dezember 2009.

Deutsch, J.A. und Deutsch, D. (1963). Attention: Some theoretical considerations. *Psychological Review*, 70, S. 80-90.

De Waard, D. (1996). *The measurement of drivers' mental workload*. PhD thesis at the Traffic Research Center of University of Groningen, Netherlands.

De Waard, D., Jessurun, M., Steyvers, F.J.J.M., Raggatt, P.T.F., Brookhuis, K.A. (1995). Effect of road layout and road environment on driving performance, drivers' physiology and road appreciation. *Ergonomics*, 38, 1395-1407.

DIN EN ISO 10075. *Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung*. Berlin: Beuth.

Dingus, T. A. (2000). *Driver distraction: New features, new tasks, new risks*. NHTSA driver distraction public meeting. July 18, 2000.

Dingus, T.A., Klauer, S.G., Neale, V.L., Petersen, A., Lee, S.E., Sudweeks, J., Perez, M.A., Hankey, J., Ramsey, D., Gupta, S., Bucher, C., Doerzaph, Z.R., Jermeland, J. und Knippling, R.R. (2006). *The 100-Car Naturalistic Driving Study, Phase II - Results of the 100-Car Field Experiment*. Verfügbar auf (02.01.11):

<http://ntl.bts.gov/lib/jpodocs/reports/14302/files/PDFs/14302.pdf>

Donmez, B., Boyle, L.N. und Lee, J.D. (2007). Safety implications of providing real-time feedback to distracted driver. *Accident Analysis and Prevention*, 39, S. 581-590.

Donmez, B., Boyle, L. und Lee, J.D. (2008). Designing feedback to mitigate distraction. In: Regan, M.A., Lee, J.D. und Young, K.L. (Hrsg.), *Driver distraction – Theory, effects and mitigation*. Boca Raton: CRC Press.

Eby, D.W. und Kostyniuk, L.P. (2004). *Distracted-driving Scenarios: A Synthesis of Literature, 2001 Crashworthiness Data System (CDS) Data and Expert Feedback*. Task 1, Safety Vehicles using adaptive Interface Technology. Verfügbar auf (02.01.11): [http://www.volpe.dot.gov/hf/roadway/saveit/docs/dec04/finalrep\\_1.pdf](http://www.volpe.dot.gov/hf/roadway/saveit/docs/dec04/finalrep_1.pdf)

Endsley, M.R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37, S. 32-64.

Engström, J., Johansson, E. und Östlund, J. (2005). Effect of visual and cognitive load in real and simulated motorway driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 8, S. 97-120.

Engström, J. und Victor, T.W. (2008). Real-time Distraction Countermeasures. In: Regan, M.A., Lee, J.D. und Young, K.L. (Hrsg.), *Driver distraction – Theory, effects and mitigation*. Boca Raton: CRC Press, S. 465-483.

Erikson, C.W. und St. James, J.D. (1986). Visual attention within and around the field of focal attention: A zoom lens model. *Perception and Psychophysics*, 40, S. 225-240.

Erikson, C.W. und Yeh, Y.Y. (1987). Allocation of attention in the visual field. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 11, S. 583-597.

Evans, L. (1985). Human Behaviour Feedback and traffic Safety. *Human Factors*, Vol. 27, S. 555-576.

Fletcher, L., Loy, G., Barnes, N. und Zelinsky, A. (2005). Correlating driver gaze with the road scene for driver assistance systems. *Robotics and Autonomous Systems*, 52, S. 71-84.



Fuller, R (1984). A conceptualization of driving behaviour as threat avoidance. *Ergonomics*, 27(11), S. 1139-1155.

Fuller, R. und Santos J.A. (2002). Psychology and the highway engineer. In Fuller, R. und Santos J.A. (Hrsg.), *Human factors for highway engineers*. Oxford: Pergamon, S.1-10.

Gayko, J. (2007). Evaluierung eines Spurhalteassistenten für das „Honda Intelligent Driver Support System“. In: Maurer, M. und Stiller, C. (Hrsg.) *Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung*, Springer Berlin Heidelberg, S. 189-202.

Gayko, J. (2009a). Lane Departure Warning. In: Winner, H., Hakuli, S. und Wolf, G. (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*, Vieweg+Teubner Verlag: Wiesbaden, S.543-553.

Gayko, J. (2009b). Lane Keeping Support. In: Winner, H., Hakuli, S. und Wolf, G. (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*, Vieweg+Teubner Verlag: Wiesbaden, S.554-561.

Gordon, C.P. (2009). Crash studies of driver distraction. In: Regan, M.A., Lee, J.D. und Young, K.L. (Hrsg.), *Driver distraction – Theory, effects and mitigation*. Boca Raton: CRC Press, S. 281-304.

Green, P. (2004). *Driver distraction, telematics design, and workload managers: Safety issues and solutions*, SAE paper No. 2004-21-0022, 2004.

Green, P. (2007). Where do drivers look while driving (and for how long)?. In: Dewar, R. und Olson, P. (Hrsg.), *Human Factors in Traffic Safety*, Lawyers & Judges Publishing Company: Tuscon, S. 57-82.

Groeger, J.A. (2000). *Understanding Driving – Applying cognitive psychology to a complex everyday task*. New York: Psychology Press.

Gugerty, L. (1997). Evidence from a Partial Report Task for Forgetting in Dynamic Spatial Memory. *Human Factors*, 40 (3), S. 498-508.

Heise (2008). Augen zu und nichts passiert. Artikel auf *heise autos* vom 31.01.2008. Verfügbar auf (02.01.11): <http://www.heise.de/autos/artikel/Augen-zu-und-nichts-passiert-439421.html>

Heise (2010). Umfrage: Viele Autofahrer telefonieren ohne Freisprechanlage. Artikel auf *heise autos* vom 26.01.2010. Verfügbar auf (02.01.11): <http://www.heise.de/autos/artikel/Umfrage-Viele-Autofahrer-telefonieren-ohne-Freisprechanlage-913939.html>

Henze, R., Bergholz, J. und Küçükay, F. (2009). Fahrerspezifische Adaption der Querführungsassistenten. In: *Fahrer im 21. Jahrhundert. Fahrer, Fahrerunterstützung und Bedienbarkeit*. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH, S. 3-22.

Hering, K. (1999). *Situationsabhängiges Verfahren zur standardisierten Messung der kognitiven Beanspruchung im Straßenverkehr*. Dissertation an der Philosophischen Fakultät der Universität zu Köln.

Hill, J.D. und Boyle, L. (2007). Driver stress as influenced by driving maneuvers and roadway conditions. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 10, S. 177-186.

Hoc, J.M., Mars, F., Milleville-Pennel, I., Jolly, E., Netto, M. und Blosseville, J.M. (2006). Evaluation of human-machine cooperation modes in car driving for safe lateral control in bends: Functions delegation and mutual control nodes. *Le Travail Humain*, 69, S. 153-182.

Horberry, T., Anderson, J., Regan, M.A., Triggs, T.J. und Brown, J. (2006). Driver distraction: The effects of concurrent in-vehicle tasks, road environment complexity and age on driving performance. *Accident Analysis and Prevention*, 38, S. 185-191.

Horrey, J.H. und Wickens, C.D. (2006). Examining the impact of cell phone conversations on driving using meta-analysis techniques. *Human Factors*, 48 (1), S. 196-205.

Horrey, W. J. und Lesch, M.F. (2009). Driver-initiated distractions: Examining strategic adaptation for in-vehicle task initiation. *Accident Analysis and Prevention*, 41, S. 115-122.

James, W. (1890). *The Principles of Psychology*. New York: Holt.

Johansson, E., Engström, J., Cherri, C., Nodari, E., Toffetti, A., Schindhelm, R. und Gelau, C. (2004). *Review of existing techniques and metrics for IVIS and ADAS assessment*. Deliverable 2.2.1 of the AIDE-Project. Verfügbar auf (02.01.11):  
[http://www.aide-eu.org/pdf/sp2\\_deliv\\_new/aide\\_d2\\_2\\_1.pdf](http://www.aide-eu.org/pdf/sp2_deliv_new/aide_d2_2_1.pdf)

Kantowitz, B. H. (1995). Simulator evaluation of heavy-vehicle driver workload. In: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 39th Annual Meeting*, Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society, S. 1107–1111.

King, D.J., Mumford D.K. und Siegmund, G.P.(1998). An Algorithm for Detecting Heavy-Truck Fatigue from Steering Wheel Motion. *Proceedings of the 16th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles*.

Kircher, K., Ahlstrom, C. und Kircher, A. (2009). Comparison of two eye-Gaze based real-time driver distraction detection algorithms in a small-scale field operational test. *Proceedings of the Fifth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*, S. 16 – 23.

Klauer, S.G., Dingus, T.A., Neale, V.L., Sudweeks, J.D. und Ramsey, D.J. (2006). *The Impact of Driver Inattention on Near-Crash/Crash Risk: An Analysis Using the 100-Car Naturalistic Driving Study Data*. Virginia Tech Transportation Institute, Report No. DOT HS 810 594. Verfügbar auf (02.01.11):

<http://www.nhtsa.gov/DOT/NHTSA/NRD/Multimedia/PDFs/Crash%20Avoidance/Driver%20Distraction/810594.pdf>

Knake-Langhorst, S., Schießl, C. und Baumann, M. (2009). Der lokale Verkehrszustand als Einflussgröße auf das Fahrerverhalten. In: *Fahrer im 21. Jahrhundert. Fahrer, Fahrerunterstützung und Bedienbarkeit*. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH, S. 53-64.

Knoll, P.M., Marwitz, H., Ostertag, M., Pflug, H.-C., Roth, C.und Spiegelberg, G. (2006). Fahrerassistenzsysteme und Verkehr In: Wallentowitz, H. und Reif, K. (Hrsg.), *Handbuch Kraftfahrzeugelektronik*, Vieweg Verlag: Wiesbaden, S. 405-454

Kompass, K. und Huber, W. (2007). Advanced Driver Assistance: Chances and Limitations on the Way to Improved Active Safety. *SAE Technical Paper*, No. 2007-01-1738.

Kopf, M. (2005). Was nützt es dem Fahrer, wenn Fahrerinformations- und -assistenzsysteme etwas über ihn wissen? In: Maurer, M., und Stiller, C. (Hrsg.) *Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung*, Springer Berlin Heidelberg, S. 117-139.

Kozak, K., Pohl, J., Birk, W., Greenberg, J., Artz, B., Blommer, M., Cathey, L. und Curry, R. (2006). Evaluation of lane departure warnings for drowsy drivers. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 50th Annual Meeting*. 16-20 October 2006, San Francisco, California, USA.

Kuttila (2006). *Methods for machine vision based driver monitoring applications*. Dissertation am Department of Automation at Tampere University/Finland.

Kuttila, M., Jokela, M., Markkula, G. und Rue, M.R. (2007). Driver Distraction Detection with a Camera Vision System. *Paper presented at 2007 IEEE International Conference on Image Processing*.

Land, M.F. und Horwood, J. (1996). The relations between head and eye movements during driving. In: Gale, A.G., Brown, I.D., Haslegrave, C.M. und Taylor, S.P. (Hrsg.). *Vision in vehicles V*. North Holland Press, Amsterdam, S. 153-160.

Land, M.F. und Horwood, J. (1995). Which parts of the road guide steering?. *Nature*, 377 (6547), S. 339-340.

Land, M.F. und Horwood, J. (1998). How speed affects the way visual information is used in steering. In Gale, A.G., Freeman, M.H., Haslegrave, C.M., Smith, P. und Taylor, S.P. (Hrsg.), *Vision in Vehicles VI*, Elsevier Science Publications, Amsterdam, S. 34-50.

Land, M.F. und Lee, D.N. (1994). Where we look when we steer. *Nature*, 369 (6483), S. 742-744.

LeBlanc, D., Eby, D.W., Bareket, Z. und Vivoda, J.M. (2008). *On-Road Evaluation of the SAVE-IT Vehicle Prototype* – Task 14c Final Report for the SAFety VEHicles using adaptive Interface Technology (SAVE-IT) Project. Verfügbar auf (02.01.11):  
<http://www.volpe.dot.gov/hf/roadway/saveit/docs/saveiteval14c.doc>

LeBlanc, D., Sayer, J., Winkler, C., Ervin, R., Bogard, S., Devonshire, J., Mefford, M., Hagan, M., Bareket, Z., Goodsell, R., Gordon, T. (2006). Road departure crash warning system field operational test: Methodology and results. *The University of Michigan, Transportation Research Institute*. Verfügbar auf (02.01.11):  
<http://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/2027.42/49242/1/99788.pdf>

Lee, J.D., Reyes, M., Liang, Y. und Lee, Y-C. (2007a). *Algorithms to Assess Cognitive Distraction*. Final Report: Phase 2, Task 5, Safety Vehicles using adaptive Interface Technology. Verfügbar auf (02.01.11):  
<http://www.volpe.dot.gov/hf/roadway/saveit/docs/phase2/algorithms-cognitive-distraction.doc>

Lee, J.D. und See, K.A. (2004). Trust in Automation: Designing for appropriate Reliance. *Human Factors*, Vol. 46, No. 1, S. 50-80.

Lee, J.D., Hoffman, J.D., Bricker, D. und Sohn, H. (2007b). *Technique for Identifying Cognitive Demands from In-Vehicle Device Use while Driving* – Task 6 Final Report for the SAFety VEHicles using adaptive Interface Technology (SAVE-IT) Project.

Lee, J.D., Young, K.L. und Regan, M.A. (2008a). Defining Driver Distraction. In: Regan, M.A., Lee, J.D. und Young, K.L. (Hrsg.), *Driver distraction – Theory, effects and mitigation*. Boca Raton: CRC Press.

Lee, J.D., Young, K.L. und Regan, M.A. (2008b). What drives distraction? Distraction as a Breakdown of Multilevel Control. In: Regan, M.A., Lee, J.D. und Young, K.L. (Hrsg.), *Driver distraction – Theory, effects and mitigation*. Boca Raton: CRC Press.

Lexus (2009). Lexus LS – Driver monitoring system. Verfügbar auf (02.01.11): <http://www.lexus.eu/range/ls/key-features/safety/safety-driver-monitoring-system.aspx>

Limbacher, R. und Färber, B. (2010). Kombination von Abstandsregelsystem und Stop&Go Funktion im Audi A8. *ATZechnik*, 2010-02, S. 30-35.

Mammar, S., Glaser, S. und Netto, M. (2006). Time to Line Crossing for Lane Departure Avoidance: A Theoretical Study and Experimental Setting. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 7, No. 2, S.226-241.

MacDonald, W.A. und Hoffmann, E.R. (1980). Review of Relationships Between Steering Wheel Reversal Rate and Driving Task Demand. *Human Factors*, 22 (6), S. 733-739.

McCall, J.C. und Trivedi, M.M. (2004). Visual Context Capture and Analysis for Driver Attention Monitoring. *Proceedings of the IEEE Intelligent Transportation System Conference*, Washington D.C., USA, S. 332-337.

McLaughlin, S.B., Hankey, J.M., Klauer, S.G. und Dingus, T.A. (2009). *Contributing Factors to Run-Off-Road Crashes and Near-Crashes*. Virginia Tech Transportation Institute, Report No. DOT HS 811 079. Verfügbar auf (02.01.11): <http://www.nhtsa.gov/DOT/NHTSA/NRD/Multimedia/PDFs/Crash%20Avoidance/2009/811079.pdf>

Mestre, D.R. (2002). Visual Factors in Driving. In Fuller, R. und Santos J.A. (Hrsg.), *Human factors for highway engineers*. Oxford: Pergamon, S. 99-114.

Michon, J. A. (1985). A critical view of driver behavior models: What do we know, what should we do? In: Evans, L. und Schwing, R. C. (Hrsg), *Human behavior and traffic safety*. New York: Plenum Press.

Moetsch, M. (2005). Blink mal wieder. *AutoBild*, 19, S. 18-20.

Mourant, R. R., Tsai, F., Al-Shihabi, T. und Jaeger, B. K. (2000). Divided Attention Ability of Young and Older Drivers. *Driver Distraction Internet Forum*. Verfügbar auf (02.01.11): <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/departments/Human%20Factors/driver-distraction/PDF/9.PDF>

Müller, H. J. und Krummenacher, J. (2003). Aufmerksamkeit. In: Müsseler, J. und Prinz, W. (Hrsg.), *Lehrbuch Allgemeine Psychologie*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, S. 119 – 178.

Muir, B.M. (1994). Trust in automation: Part I. Theoretical issues in the study of trust and human intervention in automated system. *Ergonomics*, 37 (11), S. 1905-1922.

Muir, B.M. und Moray, N. (1996). Trust in automation: Part II. Experimental studies of trust and human intervention in a process control simulation. *Ergonomics*, 39(3), S. 429-460.



Murphy-Chotorian, E., Doshi, A. und Trivedi, M.M. (2007). Head Pose Estimation for Driver Assistance Systems: A Robust Algorithm and Experimental Evaluation. IN: *Proceedings of the 10th International IEEE Conference of Intelligent Transportation Systems*, Seattle, USA, S. 709-714.

Naab, K. (2000). Automatisierung bei der Fahrzeugführung im Straßenverkehr. *at – Automatisierungstechnik*, 48, S. 211-223.

Navarro, J., Mars, F. und Hoc, J.-M. (2007). Lateral Control Assistance for Car Drivers: A Comparison of Motor Priming and Warning Systems. *Human Factors*, 49 (5), S. 950-960.

Parasuraman, R. (2000). Designing automation for human use: empirical studies and quantitative models. *Ergonomics*, 43 (7), S. 931-951.

Park, S. und Trivedi, M. (2005). Driver activity analysis for intelligent vehicles: Issues and development framework. *Proceedings of IEEE Intelligent Vehicle Symposium*, 6-8 June 2005, Las Vegas, USA, pp. 644-649.

Pohl, J., Birk, W. und Westervall, L. (2007). A driver-distraction-based lane-keeping assistance system. *Proceedings of the Institute of Mechanical Engineers Part I: Journal of Systems and Control Engineering*, 221 (4), S. 541-552.

Pomerleau, D., Jochem, T., Thorpe, C., Batavia, P., Pape, D., Hadden, J., McMillan, N. Brown, N. und Everson, J. (1999) *Run-Off-Road Collision Avoidance Using IVHS Countermeasures. Final Report*. NHTSA Report No DOT HS 809 170 Verfügbar auf (02.01.11): <http://ntl.bts.gov/lib/jpodocs/reports/13342.pdf>

Pompei, F., Sharon, T., Buckley, S. und Kemp, J. (2002). An Automobile-Integrated System for Assessing and Reacting to Driver Cognitive Load. *SAE Technical Papers*, No. 2002-21-0061.

Popken, A., Nilsson, L. und Krems, J.F. (2008). Drivers' reliance on lane keeping assistance systems. Effects of different levels of assistance. In C. Brusque (Hrsg.), *Proceedings of the European Conference on Human Interface Design for Intelligent Transport Systems (S. 301-310)*. Lyon: Humanist Publications.

Portouli, E., Papakostopoulos, V., Lai, F., Chorlton, K., Hjälm Dahl, M., Wiklund, M., Chin, E., De Goede, R., Hoedemaeker, D.M., Brouwer, R.F.T., Lheureux, F., Saad, F., Pianelli, C., Abric, J-C., Roland, J. (2006). Behavioral Effects and Driver-Vehicle-Environment Modelling: Assessment of variables: Integration (Long-term phase test and results). *AIDE – Adaptive Integrated Driver-vehicle Interface, Fraunhofer IAO, Sub-Project 1, Deliverable 1.2.4*. Verfügbar auf (02.01.11): [http://www.aide-eu.org/pdf/sp1\\_deliv\\_new/aide\\_d1\\_2\\_4.pdf](http://www.aide-eu.org/pdf/sp1_deliv_new/aide_d1_2_4.pdf)

Posner, M.I., Nissen, M.J. und Ogden, W.C. (1978). Attended and unattended processing modes: The role of set for spatial orienting. *Philosophical Transactions of the Royal Society (London)*, B 298, S. 187-198.

Posner, M.I., und Rafal, (1987). Cognitive theories of attention and the rehabilitation of attentional deficits. In R.J. Meier, A.C. Benton, und L. Diller (Eds.), *Neuropsychological Rehabilitation*. Edinburgh: Churchill Livingstone.

Quinlan, J. R. (1993). *C4.5: Programs for Machine Learning*. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers.

Recarte, M.A. und Nunes, L.M. (2003). Mental Workload While Driving: Effects on Visual Search, Discrimination and Decision Making. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 9 (2), S. 119-137.

Reddy, B.S., Basir, O.A. und Leat, S.J. (2007). Estimation of driver attention using Visually Evoked Potentials, *Intelligent Vehicles Symposium*, 13-15 June 2007, Istanbul, Turkey, S.588-593.

Reed, M.P. und Green, P.A. (1999). Comparison of driving performance on-road and in a low cost simulator using a concurrent telephone dialing task. *Ergonomics*, 42 (8), S. 1015-1037.

Reif, K. (2009a). Fahrerassistenzsysteme. In: Reif, K. (Hrsg.), *Automobilelektronik*, Vieweg + Teubner Verlag: Wiesbaden, S. 329-340.

Reif, K. (2009b). Bussysteme. In: Reif, K. (Hrsg.), *Automobilelektronik*, Vieweg + Teubner Verlag: Wiesbaden, S. 1-34.

Rieger, W. (2008). Bestandteile des Fahrwerks – Elektromechanische Lenkung. In: Heißing, B. und Ersoy, M. (Hrsg.), *Fahrwerkhandbuch*. Vieweg + Teubner Verlag: Wiesbaden, S. 209-214.

Rimini-Döring, M., Altmüller, T., Ladstätter, U. und Rossmeier, M. (2005). Effects of Lane Departure Warning on Drowsy Drivers' Performance and State in a Simulator. *Proceedings of the Third International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*, 2005, Rockport, Maine, USA.

Rockwell, T. H. (1988). Spare Visual Capacity in Driving – Revisited: New Empirical Results for an Old Idea. In: Gale, A.G., Freeman, M.H., Haslegrave, C.M., Smith, P. und Taylor, S.P. (Hrsg), *Vision in Vehicles II*. Amsterdam : North Holland Press, S. 317-324.

Rohlf, M., Schiebe, S., Kirchner, A., Müller, J., Kayser, T., Walter, M., Adomat, R., Wollner, R. und Eberhard, C. (2008). Gemeinschaftliche Entwicklung des Volkswagen „Lane Assist“. In: *Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme*, VDI-Berichte Nr. 2048. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH, S. 15-33.

Rothengatter, T. (2002). Drivers' illusions-no more risk. *Transportation Research Board Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 5 (4), S. 249-258.

Rudin-Brown, C.M. und Noy, Y.I. (2002). Investigation of behavioral adaption to lane departure warnings. *Transportation Research Record*, 1803, S. 30-37.

Sacher, H. (2009). *Gesamtheitliche Analyse des Bedienverhaltens von Fahrzeugfunktionen in der täglichen Nutzung*, Mündliche Mitteilung eines unveröffentlichten Ergebnisses (29.07.09), Dissertation an der Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität München.

Sagberg, F., Fosser, S. und Saetermo, I.A.F.(1997). An investigation of behavioural adaptation to airbags and antilock brakes among taxi drivers. *Accident Analysis and Prevention*, 29, S. 293-302.

Salvucci, D.D. und Gray, R. (2004). A two-point visual control model of steering. *Perception*, 33 (10), S. 1233-1248.

Schiele, B. und Wojek, C. (2009). Kamerabasierte Fußgängerdetektion. In: Winner, H., Hakuli, S. und Wolf, G. (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*, Vieweg+Teubner Verlag:Wiesbaden, S.223-236.

Seeing Machines (2009a). Facelab. Verfügbar auf (02.01.11):  
<http://www.seeingmachines.com/product/facelab/>

Seeing Machines (2009b). Driver State Sensor. Verfügbar auf (02.01.11):  
<http://www.seeingmachines.com/product/dss/>

Smith, M.R.H., Witt, G.J., Bakowski, D.L., LeBlanc, D. und Lee, J.D. (2008). Adapting Collision Warnings to Real-Time Estimates of Driver Distraction. In: Regan, M.A., Lee, J.D. und Young, K.L. (Hrsg.), *Driver distraction – Theory, effects and mitigation*. Boca Raton: CRC Press, S. 501-518.

Smith, P., Shah, M. und da Vitoria Lobo, N. (2003). Determining driver visual attention with one camera. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 4 (4), S. 205–218.

Stanton, N.A. and Young, M.S., (2000). A proposed psychological model of driving automation. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 1, S. 315 – 331.

Steele, M. and R.B. Gillespie (2001). Shared control between human and machine: Using a haptic steering wheel to aid in land vehicle guidance. *Human Factors and Ergonomics Society 45th Annual Meeting*, Minneapolis, October 2001.

Stutts, J.C, Feaganes, J., Reinfurt, D., Rodgmana, E., Hamlett,C., Gish, K. und Staplin, L. (2005). Guidance for the implementation of the AASHTO Strategic Highway Safety Plan, Volume 14: A guide for reducing crashes involving drowsy and distracted drivers, *National Cooperative Highway Research Program Report 500, v14*, Transportation Research Board, Washington DC. Verfügbar auf (02.01.11):

[http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp\\_rpt\\_500v14.pdf](http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_500v14.pdf)

Stutts, J.C., Reinfurt, D.W., Staplin, L. und Rodgman, B.S. (2001). The role of driver distraction in traffic crashes. Report 202/638-5944, *AAA Foundation for Traffic Safety*, Washington DC. Verfügbar auf (02.01.11):

<http://www.aaafoundation.org/pdf/distraction.pdf>

Summala, H (1988). Risk control is not risk adjustment: The zero-risk theory of driverbehaviour and its implications. *Ergonomics*, 31(4), S. 491-506.

Summala, H. (1997). Hierachical model of behavioural adaptation and traffic accidents. In: J.A. Rothengatter und E. Carbonell Vaya (Hrsg.), *Traffic and Transport Psychology: Theory and Application*. Oxford: Pergamon.

Summala, H., Lamble, D. und Laakso, M. (1998). Driving experience and perception of the lead car's braking when looking at in-car targets. *Accident Analysis and Prevention*, 30, 401-407.

Summala, H., Nieminen, T. und Punto, M. (1996). Maintaining lane position with peripheral vision during in-vehicle tasks. *Human Factors*, 38, 442-451.

Suzuki, K. und Jansson, H. (2003). An analysis of driver's steering behavior during auditory or haptic warnings for the designing of lane departure warning system. *Japan Society of Automotive Engineers Review*, 24, S.65-70.

Svenson, O. (1981). Are we all less risky and more skilful than our fellow drivers? *Acta Psychologica*, 47, S. 143-148.

Tijerina, L. (1996). *Final report—program executive summary: Heavy vehicle driver workload assessment*. DOT HS 808 466. Verfügbar auf (02.01.11):

<http://ntl.bts.gov/lib/jpodocs/reports/1706.pdf>

Tijerina, L., Parmer, E. und Goodman, M.J. (1998). Driver Workload assessment of Route Guidance System Destination Entry while Driving: A Test Track Study. *Proceedings of the 5<sup>th</sup> ITS World Congress*, Seoul, Korea, October 12-16, 1998.

Törnros, J. und Bolling, A. (2006). Mobile phone use – effects of conversation on mental workload and driving speed in rural and urban environments. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 9, S. 298 – 306.

Torkkola, K., Massey, N. und Wood, C. (2004). Detecting Driver Inattention in the Absence of Driver Monitoring Sensors. *Proceedings of International Conference on Machine Learning and Applications*, 16-18 December 2004, Louisville, Kentucky, USA.

Trefflich, B. (2010). *Videogestützte Überwachung der Fahreraufmerksamkeit und Adaption von Fahrerassistenzsystemen*. Dissertation an der Fakultät für Informatik und Automatisierung der Technischen Universität Illmenau, Cuvillier Verlag Göttingen.

Treisman, A.M. (1964). Monitoring and storage of irrelevant messages and selective attention. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 3, S.449-459.

Tsimhoni, O., Smith, D. und Green, P. (2004). Address Entry While Driving: Speech Recognition Versus a Touch-Screen Keyboard. *Human Factors*, 46 (4), S. 600-610.

Udris, I. und Frese, M. (1999). Belastung und Beanspruchung. In: Hoyos, C. und Frey, D. (Hrsg.), *Arbeits- und Organisationspsychologie – Ein Lehrbuch*. Psychologie Verlags Union: Weinheim, S. 429-445.

Vaa, T. (2001). Cognition and Emotion in Driver Behaviour Models - Some Critical Viewpoints. *14th ICTCT Workshop*, 2001. Verfügbar auf (02.01.11):  
[http://www.ictct.org/dlObject.php?document\\_nr=225&/Vaa.pdf](http://www.ictct.org/dlObject.php?document_nr=225&/Vaa.pdf)

Vapnik, V. N. (1995). *The nature of statistical learning theory*. New York: Springer

Vaughan-Nichols, S.J. (2009). Game-Console Makers Battle over Motion-Sensitive Controllers. *Computer*, 42 (8), S. 13-15.

Veeraraghavan, H., Atev, S., Bird, N., Schrater, P. und Papanikolopoulos, N. (2005). Driver Activity Monitoring through Supervised and Unsupervised Learning. *Proceedings of the 8<sup>th</sup> International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, Vienna, Austria, September 13-16, 2005, S. 895-900.

Veeraraghavan, H., Bird, N., Atev, S. und Papanikolopoulos, N. (2007). Classifiers for driver activity monitoring. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 15, Iss. 1, S. 51-67.

Victor, W.T. (2005). *Keeping eye and mind on the road*. Dissertation at Uppsala University/ Sweden.

Victor, W.T., Harbluk, J.L. und Egnström, J.A. (2005). Sensitivity of eye movement measures to in-vehicle task difficulty. *Transportation Research Part F*, 8, S. 167-190.



Wahlstrom, E., Masoud, O. und Papanikolopoulos, N. (2004). *Monitoring driver activities*. Technical Report No. CTS 04-05. Artificial Intelligence, Robotics and Vision Laboratory, Department of Computer Science, University of Minnesota. Verfügbar auf (02.01.11):

<http://www.its.umn.edu/Publications/ResearchReports/pdfdownload.pl?id=66>

Wang, J., Knipling, R.R. and Goodman, M.J. (1996). The role of driver inattention in crashes; new statistics from the 1995 crashworthiness data system (CDS),” In *40th Annual Proceedings: Association for the Advancement of Automotive Medicine*.

Wickens, C. D. (1980). The structure of attentional resources. In: Nickerson, R. (Hrsg.), *Attention and Performance VIII*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, S. 239-257.

Wickens, C.D. (2002). Multiple resource and performance prediction. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, Vol. 3, No. 2, S. 159-177.

Wierwille, W., Tijerina, L., Kiger, S., Rockwell, T., Lauber, E. und Bittner, A Jr. (1996). Heavy Vehicle Driver Workload Assessment. Task 4: *Review of Workload and Related Research*. US Department of Transportation, NHTSA. DOT HS 808 467 (4).

Wierwille, W. und Tijerina, L. (1997). Darstellung des Zusammenhangs zwischen der visuellen Beanspruchung des Fahrers im Fahrzeug und dem Eintreten eines Unfalls. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 43 (2), S.67-74.

Wikman, A-S., Nieminen, T. und Summala, H. (1998). Driving Experience and time-sharing during in-car tasks on roads of different width. *Ergonomics*, 41 (3), S. 358-372.

Wilde, G.J.S. (1982). The theory of risk homeostasis: Implications for safety and health. *Risk Analysis*, 2, S. 209–225.

Winner, H., Danner, B. und Steinle, J. (2009). Adaptive Cruise Control. In: Winner, H., Hakuli, S. und Wolf, G. (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*, Vieweg+Teubner Verlag:Wiesbaden, S.478-521.

Winner, H.(2009). Frontalkollisionsschutzsysteme. In: Winner, H., Hakuli, S. und Wolf, G. (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*, Vieweg+Teubner Verlag:Wiesbaden, S.522-542.

Witten, I.H. und Frank, E. (2005). *Data mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*. Morgan Kaufmann Publishers: San Francisco.

Yerkes, R.M. und Dodson, J.D. (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *Journal of Comparative Neurology and Psychology*, 18, S. 459-482.

Young, K., Regan, M. und Hammer, M. (2003). *Driver Distraction: A review of literature*, Monash University Accident Research Center, Report No. 206.

Young, M.S. und Stanton, N.A. (2002). Attention and automation: new perspectives on mental underload and performance. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3 (2), S. 178-194.

Zabyshny, A.A. und Ragland, D.R. (2003). False Alarms and Human-Machine Warning Systems. *UC Berkeley Traffic Safety Center*, Paper UCB-TSC-RR-2003-07. Verfügbar auf (02.01.11): <http://repositories.cdlib.org/its/tsc/UCB-TSC-RR-2003-07>

Zhang, H. und Smith, M. (2004). *A final report of Safety Vehicle(s) using adaptive Interface Technology (SAVE-IT) Program: Task 7 –Visual Distraction*. Verfügbar auf (02.01.11): [http://www.volpe.dot.gov/hf/roadway/saveit/docs/dec04/litrev\\_7a.pdf](http://www.volpe.dot.gov/hf/roadway/saveit/docs/dec04/litrev_7a.pdf)

Zhang, H., Smith, M. und Dufour, R. (2008a). *A Final Report of SAFety VEhicles using adaptive Interface Technology (Phase II: Task 7C): Visual Distraction*. Verfügbar auf (02.01.11): <http://www.volpe.dot.gov/hf/roadway/saveit/docs/visdistract.doc>

Zhang, H., Smith, M.R.H. und Witt, G.J. (2008b). Driving Task Demand-Based Distraction Mitigation. In: Regan, M.A., Lee, J.D. und Young, K.L. (Hrsg.), *Driver distraction – Theory, effects and mitigation*. Boca Raton: CRC Press, S. 485-500.

Zwahlen, H. T., Adams, C. C., und DeBald, D. P. (1988). Safety aspects of CRT touch panel controls in automobiles. In Gale, A.G., Freeman, M.H., Haslegrave, C.M., Smith, P. und Taylor, S.P. (Hrsg): *Vision in Vehicles II*, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, S. 335–344.

Zwahlen, H.T. und DeBald, D.P. (1986). Safety Aspects of Sophisticated In-vehicle Information Displays and Controls. In: *Proceedings of the 30th Annual Meeting of the Human Factors Society*, Dayton, Ohio, S. 256-260.